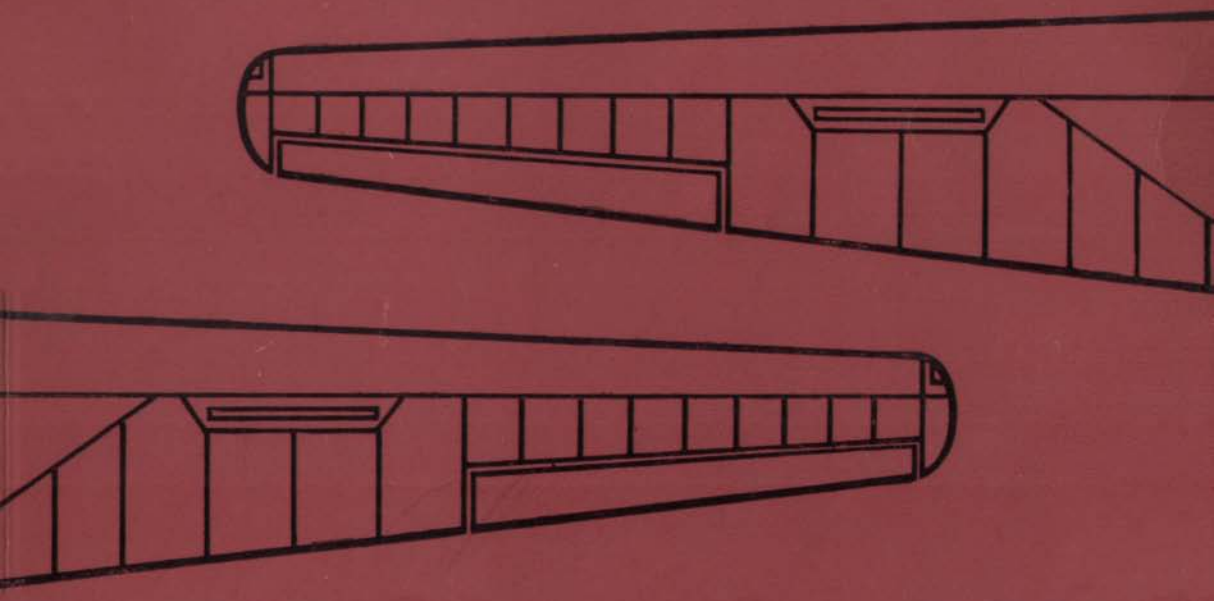
ADAM SKARBIŃSKI

# TECHNOLOGIA BUDOWY SZYBOWCÓW



WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI i ŁĄCZNOŚCI

Inż. ADAM SKARBIŃSKI

# TECHNOLOGIA BUDOWY SZYBOWCÓW

WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI i ŁĄCZNOŚCI

629.135.15

*W książce omówiono całokształt zagadnień związanych z technologią budowy szybowców. Książka zawiera przegląd metod produkcyjnych stosowanych przy fabrykacji szybowców oraz urządzeń pomocniczych potrzebnych do wykonywania poszczególnych części i zespołów szybowca. Zawiera także opisy badań, jakim poddaje się materiały, z których są budowane szybowce.*

*Książka jest przeznaczona dla studentów wydziałów lotniczych oraz dla pracowników przemysłu lotniczego, biur konstrukcyjnych i zakładów naprawczych sprzętu szybowcowego.*

---

Okładkę projektował *Krzysztof Racinowski*

Opiniodawca mgr inż. *Władysław Nowakowski*

Redaktor *Teresa Drzał*

Redaktor techniczny *Jadwiga Raczkowska*

Korektor *Halina Miechowicz, Sabina Trefon*

---

*Książkę tę poświęcam*
*pamięci pierwszego dyrektora*
*Instytutu Szybownictwa*
*mgr inż. Rudolfa Weigla*

*Autor*

## SPIS TREŚCI


Od autora . . . . . 7

Rozdział 1. **Wiadomości wstępne** . . . . . 9

1.1. Materiały stosowane do budowy szybowców . . . . . 9
1.2. Proces technologiczny budowy . . . . . 10
1.3. Stosowane oprzyrządowanie . . . . . 12
1.4. Zakład wytwórczy . . . . . 13
1.5. Przygotowanie technologiczne . . . . . 15

Rozdział 2. **Dokumentacja konstrukcyjna** . . . . . 17

2.1. Podział konstrukcyjno-fabrykacyjny . . . . . 17
2.2. Numeracja rysunkowa . . . . . 19
2.3. Wymagania techniczne . . . . . 22

Rozdział 3. **Wymienność części** . . . . . 23

Rozdział 4. **Odwzorowanie geometrii szybowca** . . . . . 29

4.1. Metoda płazowo-strunowa . . . . . 29
4.2. Fotochemiczna metoda powielania trasy . . . . . 32
4.3. Foremniki . . . . . 33

Rozdział 5. **Wykonywanie części metalowych** . . . . . 39

5.1. Tolerancje i pasowania . . . . . 39
5.2. Chropowatość powierzchni . . . . . 46
5.3. Nieniszczące metody badań . . . . . 53
5.4. Cięcie . . . . . 56
5.5. Obróbka plastyczna . . . . . 60
5.6. Wiercenie . . . . . 65
5.7. Uniwersalne przyrządy składane . . . . . 68
5.8. Spawanie . . . . . 70
5.8.1. Przyrządy do spawania . . . . . 77
5.8.2. Spawanie gazowe . . . . . 85
5.8.3. Spawanie elektryczne łukowe . . . . . 89
5.8.4. Zgrzewanie elektryczne oporowe . . . . . 94
5.8.5. Kontrola spawania . . . . . 97
5.9. Obróbka cieplna . . . . . 109
5.9.1. Obróbka cieplna stali . . . . . 109
5.9.2. Kontrola obróbki cieplnej stali . . . . . 125
5.9.3. Nawęglanie . . . . . 129
5.9.4. Obróbka cieplna metali nieżelaznych . . . . . 130
5.9.5. Kontrola obróbki cieplnej metali nieżelaznych . . . . . 138
5.10. Korozja metali . . . . . 138
5.11. Pokrycia ochronne . . . . . 143
5.11.1. Cynkowanie stali . . . . . 143
5.11.2. Oksydowanie chemiczne stali . . . . . 147
5.11.3. Anodowanie stopów lekkich . . . . . 148
5.11.4. Ochrona stopów magnezowych . . . . . 149
5.11.5. Powłoki malarskie części metalowych . . . . . 151
5.12. Warsztatowe środki miernicze . . . . . 158

Rozdział 6. **Wykonywanie części drewnianych** . . . . . 165

6.1. Drewno . . . . . 165
6.2. Sklejka . . . . . 173
6.3. Obróbka drewna skrawaniem . . . . . 175

6.4. Gięcie drewna i sklejki . . . 176
6.5. Kleje do drewna . . . 177
6.5.1. Klej kazeinowy . . . 180
6.5.2. Klej fenolowo-formaldehydowy AG . . . 182
6.5.3. Klej mocznikowo formaldehydowy Aerolite 306 . . . 185
6.5.4. Klej rezorcynowy AR . . . 188
6.6. Promienniki podczerwieni . . . 190
6.7. Wykonywanie zespołów drewnianych . . . 192
Rozdział 7. **Wykonywanie części laminatowych** . . . 201
7.1. Materiały . . . 201
7.2. Laminowanie . . . 203
7.3. Klejenie . . . 208
7.4. Malowanie . . . 208
Rozdział 8. **Montaż podzespołów** . . . 211
8.1. Montaż części skrzydła . . . 211
8.2. Montaż części kadłuba . . . 218
8.3. Montaż części usterzenia kierunku . . . 219
8.4. Montaż części usterzenia wysokości . . . 219
8.5. Połączenia śrubowe . . . 221
8.5.1. Wiercenie otworów . . . 226
8.5.2. Dociąganie nakrętek . . . 227
8.5.3. Zabezpieczanie nakrętek . . . 227
8.6. Połączenia nitowe . . . 229
8.6.1. Połączenia nitami rurowymi . . . 229
8.6.2. Połączenia nitami pełnymi . . . 230
8.6.3. Nitowanie jednostronne . . . 232
8.7. Połączenia klejowe części metalowych . . . 233
8.7.1. Klej epoksydowy na bazie żywicy „Epidian 5" . . . 233
8.7.2. Klej fenolowy modyfikowany „BWF-21" . . . 234
8.7.3. Klej kauczukowy „Butapren" . . . 236
8.7.4. Klej epoksydowy modyfikowany ME-1 . . . 236
Rozdział 9. **Zestawy konstrukcji drewnianych** . . . 238
9.1. Budowa skrzydła . . . 238
9.2. Masa zalewowa cementowo-gipsowa . . . 247
9.3. Budowa lotek . . . 249
9.4. Budowa kadłuba . . . 250
9.5. Budowa usterzeń . . . 257
Rozdział 10. **Wykonywanie osłon ze szkła organicznego** . . . 264
Rozdział 11. **Prace wykończeniowe** . . . 268
11.1. Opłótnianie . . . 268
11.2. Malowanie zespołów opłótnionych . . . 273
11.3. Malowanie konstrukcji drewnianych . . . 275
11.4. Badanie wyrobów lakierowych . . . 280
Rozdział 12. **Prace montażowe** . . . 284
12.1. Montaż i zabezpieczanie łożysk tocznych . . . 284
12.2. Wykonywanie cięgieł linkowych . . . 285
12.3. Zabezpieczanie ściągaczy . . . 290
12.4. Wykonywanie popychaczy . . . 292
12.5. Niwelacja szybowca . . . 293
12.6. Stabilizacja szybowca . . . 295
12.7. Regulacja hamulca aerodynamicznego . . . 297
12.8. Ważenie i wyznaczanie środka ciężkości szybowca . . . 298
12.9. Montaż przyrządów pokładowych . . . 299
12.9.1. Prędkościomierz . . . 300
12.9.2. Dajniki ciśnienia powietrza . . . 300
12.9.3. Wysokościomierz . . . 301
12.9.4. Wariometr . . . 302
12.9.5. Zakrętomierz . . . 303
12.9.6. Sztuczny horyzont . . . 304
12.9.7. Przechowywanie przyrządów pokładowych . . . 305
12.10. Montaż aparatury tlenowej . . . 305
Rozdział 13. **Technologiczność konstrukcji** . . . 308
Literatura . . . 319

## *Od AUTORA*

*Sport szybowcowy osiągnął w Polsce poziom światowy. Jednym z warunków upowszechnienia szybownictwa jest posiadanie szerokiej bazy sprzętu szkoleniowego, treningowego oraz wyczynowego.*

*Na świecie szybowce rodzą się w większości w małych warsztatach, budowane przy współudziale zakładów dostarczających skomplikowane części metalowe. Mało jest natomiast wytwórni produkujących sprzęt szybowcowy na skalę przemysłową, jak to ma miejsce u nas w kraju. Stąd też znikoma jest ilość publikacji poświęconych zagadnieniom budowy szybowców. Problemy te są omawiane najczęściej ubocznie przy opisach produkcji samolotów.*

*Zapewnienie szybowcom wysokiej klasy pod względem rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych przypadło w udziale Szybowcowemu Zakładowi Doświadczalnemu w Bielsku, gdzie pracuje autor tej książki.*

*Wydawnictwa Komunikacji i Łączności wydały w 1966 roku książkę autorów A. Skarbińskiego i W. Stafieja pod tytułem „Projektowanie i konstrukcja szybowców", która ujmuje polski dorobek konstrukcyjny, natomiast niniejsze opracowanie jest próbą podsumowania dorobku krajowego w zakresie wykonawstwa szybowców. Praca jest poszerzona o zagadnienia związane z przemysłem ogólnomaszynowym, do którego należy również przemysł szybowcowy.*

*Oddając książkę do rąk Czytelnika pragnę zaznaczyć, że zebrany w niej materiał jest wynikiem żmudnej i w większości pionierskiej pracy technologów.*

**Uwaga.**

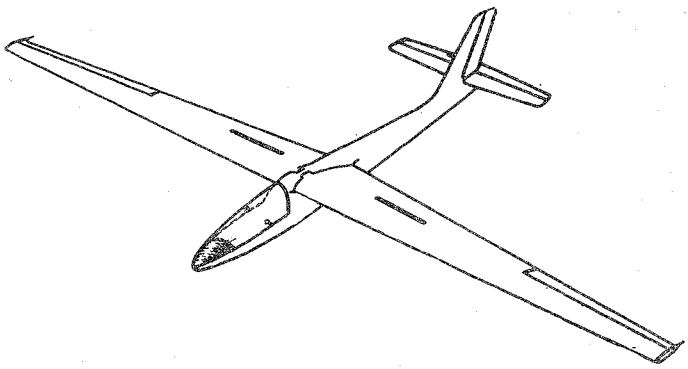
Wszystkie przytoczone w niniejszej książce normy — aktualne w chwili druku. Przed zastosowaniem należy sprawdzić ich aktualność.

Rozdział 1

# WIADOMOŚCI WSTĘPNE

Szybowiec składa się z kadłuba, w którym znajduje się oszklona kabina pilota, przymocowanych do niego skrzydeł oraz usterzeń poziomego i pionowego.

Typową sylwetkę szybowca przedstawiono na rysunku 1-1. Grupy wykonawcze, stanowiące całość wyrobu, po zmontowaniu łączone są za pomocą metalowych okuć; wewnątrz grup wykonawczych znajdują się metalowe mechanizmy umożliwiające sterowanie szybowcem w czasie lotu za pomocą lotek i sterów.



*Rys. 1-1. Typowa sylwetka szybowca*

## 1.1. MATERIAŁY STOSOWANE DO BUDOWY SZYBOWCÓW

Podstawowym materiałem stosowanym obecnie w kraju do budowy szybowców jest drewno. Stosuje się również rury stalowe do wykonywania kadłubów kratowych (szybowiec „Lis") oraz blachy duralowe do wykonywania szybowców całkowicie metalowych (szybowiec „Kormoran").

W innych krajach ostatnio coraz częściej wytwarza się szybowce z tworzyw sztucznych. Są to łączone skorupy laminatowe wykonane z tkanin szlanych przesycanych w czasie formowania żywicami epoksydowymi lub poliestrowymi.

Części metalowe wykonywane niegdyś wyłącznie ze stali węglowych i stopowych mających cechy dobrej spawalności, zastępowane są obecnie w znacznej mierze częściami duralowymi. Ze względu na bardzo ogra-

niczone możliwości spawania duralu, stosuje się najczęściej łączenie części za pomocą nitowania.

Do produkcji szybowców konstrukcji drewnianej podstawowym tworzywem jest tarcica sosnowa kategorii lotniczej oraz sklejka lotnicza brzozowa o grubości 0,6÷2,5 mm. Do łączenia drewna stosowany jest klej wodoodporny o dodatnich własnościach fizyko-mechanicznych.

Oprócz wymienionych materiałów znajdują zastosowanie: tarcice jesionowa, bukowa i lipowa, mosiądz, brąz, ołów, aluminium, linki stalowe, tkaniny, wyroby gumowe, papiernicze i tapicerskie, skóra, wyroby lakiernicze i z tworzyw sztucznych, jak szkło organiczne, laminaty.

Do montażu stosuje się cały zestaw części łączących i typowych, jak śruby, podkładki, nakrętki, zawleczki, wkręty, sworznie, nity, kołki, popychacze, cięgła, ściągacze, chomątka, łożyska, wzierniki, amortyzatory, kółka z hamulcem itp.

Na wyposażenie szybowca składają się: przyrządy pokładowe, pasy pilota, zaczepy startowe, apteczka, instalacja sanitarna, aparatura tlenowa i radiostacja.

Zbiorczy zestaw materiałów na jeden szybowiec obejmuje około 300 pozycji asortymentów materiałów podstawowych i pomocniczych oraz około 500 pozycji asortymentów części normalnych.

### 1.2. PROCES TECHNOLOGICZNY BUDOWY

W książce niniejszej zajmiemy się, głównie budową szybowców drewnianych.

Podstawowy proces technologiczny budowy szybowca polega na wykonaniu zespołów drewnianych i metalowych oddzielnie oraz na kolejnym ich montowaniu w zestawy. Do budowy grup wykonawczych można przystąpić dopiero po przygotowaniu wszystkich zestawów potrzebnych w danej fazie produkcyjnej. Schemat typowego przebiegu budowy szybowca pokazano na rysunku 1-2.

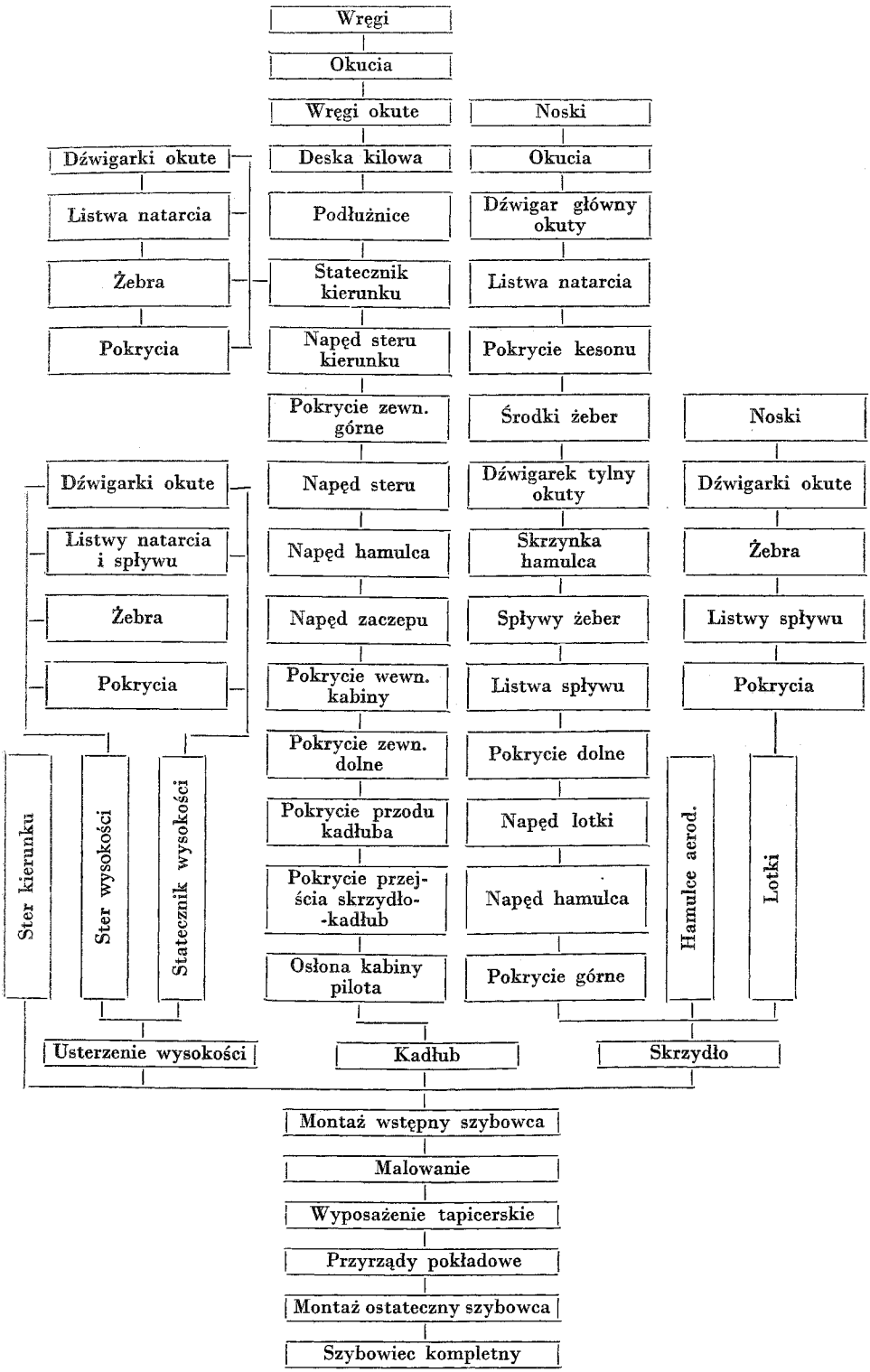
Z przygotowanych zestawów buduje się oddzielnie kadłub, skrzydła i usterzenia. Najpierw wykonuje się szkielet złożony z wręg lub żeberek, zakłada się odpowiednie mechanizmy do środka i okleja się pokryciami sklejkowymi i laminatowymi.

Po montażu wstępnym szybowca i sprawdzeniu działania układu sterowania poszczególne grupy wykonawcze wykańcza się.

Szybowiec maluje się w celach konserwacyjnych i dekoracyjnych. W szybowcach wysokiej klasy usuwa się procesem malowania wszystkie niedokładności powierzchniowe i nadaje lustrzaną gładź o minimalnych zafalowaniach. Ma to zasadniczy wpływ na własności aerodynamiczne szybowca.

Ponieważ szybowiec w czasie eksploatacji przebywa w różnych warunkach, musi być odpowiednio zabezpieczony antykorozyjnie. Stosuje się pokrywanie części stalowych warstwą cynku lub wyrobami lakierniczymi, a części ze stopów lekkich pokrywa się warstwą tlenków za pomocą procesu anodowania.

Szybowiec składa się z około 15 000 części, w tym około 8000 części jest drewnianych (listwy i klocki sosnowe oraz nakładki, węzły i pokrycia sklejkowe). Reszta to części metalowe, takie jak pojedyncze dźwignie, kołnierze, konsole, uchwyty, podkładki, tulejki, sworznie, osłony oraz podzespoły spawane i nitowane, których jest razem około 1500, jak też




*Rys. 1-2. Schemat budowy szybowca*

części normalne i typowe, a ponadto instalacje przyrządów pokładowych, zaczepów, kółka z hamulcem, aparatury tlenowej itp.

Udział poszczególnych prac w budowie nowoczesnego szybowca konstrukcji drewnianej przedstawia się następująco:

| | |
|---|---|
| — obróbka ręczna metalu | — 17% |
| — obróbka mechaniczna metalu | — 7% |
| — spawanie | — 1,5% |
| — obróbka cieplna | — 0,5% |
| — obróbka galwaniczna | — 1% |
| — obróbka maszynowa drewna | — 8% |
| — obróbka ręczna i zestawy części z drewna | — 40% |
| — montaż podzespołów i zespołów | — 13% |
| — wykonanie laminatów | — 1,5% |
| — obróbka szkła organicznego | — 0,5% |
| — prace tapicerskie i cellonowanie | — 1,5% |
| — prace malarskie | — 7% |
| — montaż ostateczny i oblot | — 1,5% |
| Razem | — 100% |

Na obróbkę ręczną metalu składają się takie czynności, jak trasowanie i cięcie, piłowanie, załamywanie ostrych krawędzi, zaginanie, wiercenie, rozwiercanie, nitowanie, wtłaczanie tulejek, zaciskanie łożysk, zawalcowywanie korków popychaczy, gwintowanie ręczne, pomoc przy spawaniu, czyszczenie ręczne i na szczotkach mechanicznych, pasowanie części ze sobą, ręczne gięcie sprężyn.

Do obróbki mechanicznej metalu zalicza się: toczenie, wytaczanie, frezowanie, struganie, szlifowanie, gwintowanie.

Do obróbki mechanicznej drewna zalicza się cięcie tarcicy, cięcie sklejki, struganie, ukosowanie sklejki, frezowanie, wiercenie.

Na obróbkę ręczną drewna składają się następujące czynności: klejenie pasów i listew, wykonywanie klocków warstwowych, wycinanie węzłów i klocków kształtowych, klejenie żeber, klejenie wręg, zestaw dźwigarów skrzydła, kadłuba oraz lotek i sterów, oklockowanie szkieletu, czyszczenie szkieletu, obróbka do profilu, klejenie węzłów i pokryć.

Do prac montażowych zestawów, grup wykonawczych i montażowych wchodzą czynności: owiercanie części okuwanych, łączenie śrubami i punktowanie, łączenie wkrętami, łączenie sworzniami, zaplatanie linek, montaż napędów, stabilizacja, konserwacja łożysk, montaż instalacji.

Przy produkcji szybowców zatrudnieni są pracownicy fizyczni następujących zawodów: stolarze maszynowi i ręczni ze znajomością klejenia klejami syntetycznymi, ślusarze-wzorcarze, ślusarze ręczni i maszynowi, tokarze, frezerzy, szlifierze, spawacze, hartownicy, galwanizerzy, monterzy płatowcowi, fornierzy mas plastycznych, tapicerzy oraz malarze.

### 1.3. STOSOWANE OPRZYRZĄDOWANIE

Fabryczna produkcja szybowców opiera się na daleko posuniętym oprzyrządowaniu warsztatowym. Nowoczesne konstrukcje szybowców przyniosły ze sobą konieczność wykonywania sztywnych pokryć, które zapewniają wierność geometrii profilów aerodynamicznych. Ponieważ konstrukcja musi być bardzo lekka, a rozpiętości grup wykonawczych

sięgają około 8 m, podgrupy wykonawcze i pokrycia są bardzo wiotkie. Zmusza to do stosowania dużych, mocnych przyrządów montażowych. Stosowanie przyrządów jest również konieczne ze względu na proces klejenia, który wymaga długiego okresu przetrzymywania części klejowych w dociskach.

Pokrycia laminatowe formowane są z tkaniny szklanej i nasycane ciekłą żywicą. Odbywa się to na foremnikach przestrzennych.

Wiele części musi być spawanych w przyrządach, gdyż bez przyrządu trudno jest zapewnić właściwą geometrię układu. Ze względu na wymaganą dużą dokładność odwzorowania geometrii profilów aerodynamicznych, stosuje się w produkcji cały asortyment wzorników.

Na pełny zakres oprzyrządowania warsztatowego składają się następujące pozycje:

| | |
|---|---|
| — sprawdziany | — 8% |
| — wzorce i wzorniki | — 6÷15% |
| — przyrządy spawalnicze | — 2% |
| — przyrządy montażowe | — 55÷70% |
| — przyrządy do obróbki wiórowej | — 3÷ 8% |
| — wykrojniki i tłoczniki | — 5÷10% |
| — foremniki | — 1÷ 5% |
| — części normalne | — 1% |
| Razem | 100% |

Łączna pracochłonność wykonania oprzyrządowania równa się pracochłonności wykonania 6÷8 szybowców budowanych w krótkich seriach 10÷15 sztuk. Pełny zestaw oprzyrządowania zawiera około 1500 pozycji.

Z dotychczasowego omówienia wynika, że dla danego rodzaju konstrukcji szybowca konieczne jest minimum oprzyrządowania potrzebne do wykonania egzemplarza prototypowego; jest to w głównej mierze oprzyrządowanie grup wykonawczych, natomiast w drugiej kolejności stosuje się oprzyrządowanie zapewniające jakość produktu seryjnego, a w trzeciej kolejności — oprzyrządowanie obniżające pracochłonność.

### 1.4. ZAKŁAD WYTWÓRCZY

Podany w skrócie przebieg budowy szybowca wskazuje na konieczność dysponowania odpowiednim zakładem produkcyjnym zdolnym do wytwarzania nowoczesnego sprzętu.

W zakładzie produkcyjnym powinny mieścić się następujące pomieszczenia:

— obróbka mechaniczna drewna,
— obróbka ręczna drewna,
— obróbka mechaniczna metalu,
— obróbka ręczna metalu (ślusarnia),
— spawalnia,
— obróbka cieplna i piaskownia,
— obróbka galwaniczna i anodownia,
— laminatownia,
— montaż grup wykonawczych i montażowych,
— obróbka szkła organicznego,
— tapicernia i cellonownia,
— malarnia,

— montaż ostateczny szybowca,
— kontrola techniczna,
— narzędziownia,
— kompresorownia.

Pomieszczenia powinny mieć odpowiednie oświetlenie naturalne i sztuczne, ogrzewanie i wentylację. Do odpowiednich pomieszczeń powinno być doprowadzane sprężone powietrze z kompresorowni. Spawalnia, galwanizernia, hartownia, malarnia i laminatownia powinny mieć wentylację mechaniczną, inne pomieszczenia zaś wentylację grawitacyjną.

Zwraca się uwagę również na właściwy materiał podłogi. Wiąże się to z ustaleniem rodzaju transportu wewnątrzzakładowego.

Często konieczna jest ocena dysponowanej powierzchni pod względem przydatności do produkcji. Wielkość potrzebnej powierzchni można ustalić z wzoru:

$$Q_u = Q_{pr} + Q_{pm} \tag{1-1}$$

gdzie:
$Q_u$ — powierzchnia użytkowa,
$Q_{pr}$ — powierzchnia produkcyjna,
$Q_{pm}$ — powierzchnia pomocnicza.

Powierzchnia produkcyjna $Q_{pr}$ zależy od liczby stanowisk, jakie mają stanąć na tej powierzchni; wyraża się wzorem:

$$Q_{pr} = I \cdot q \tag{1-2}$$

gdzie:
$q$ — średnia powierzchnia produkcyjna przypadająca na jedno stanowisko,
$I$ — liczba stanowisk.

Średnią powierzchnię produkcyjną $q$ przyjmuje się równą 6 m² dla stanowiska ręcznego i 15 m² dla stanowiska mechanicznego, oprócz stanowisk specjalnych (np. montaż ostateczny), dla których ustala się metraż indywidualnie.

Liczba stanowisk zależy od rodzaju przewidzianej pracy i wyraża się wzorem:

$$I = \frac{T}{F_e \cdot z \cdot n} \tag{1-3}$$

gdzie:
$T$ — roczna pracochłonność robót,
$F_e$ — roczny efektywny fundusz godzinowy,
$z$ — wskaźnik zmianowości,
$n$ — średnie przewidywane obciążenie stanowiska.

Roczna pracochłonność robót $T$ wynika z programu produkcji, roczny efektywny fundusz godzinowy $F_e$ przyjmuje się dla stanowisk ręcznych równy 2336 godzin, a dla stanowisk mechanicznych równy 2200 godzin. Wskaźnik zmianowości $z$ mówi o ilości przewidywanych zmian na dobę; średnie przewidywane obciążenie stanowiska $n$ przyjmuje się dla stanowisk ręcznych 0,9, a dla stanowisk mechanicznych 0,83.

Powierzchnia pomocnicza $Q_{pm}$ zależy od powierzchni produkcyjnej i wyraża się wzorem:

$$Q_{pm} = Q_{pr} \cdot K \tag{1-4}$$

gdzie:
$K$ — wskaźnik powierzchni pomocniczej przyjmowany za 0,3.

| Nazwa części lub czynności | Pracochłonność rbg / Liczba zatrudnionych | Cykl produkcyjny rbg | Miesiące kalendarzowe | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | I | II | III | IV | V | VI | VII |
| Części metalowe — kolejność I | 1000 / 2 | 500 | | | | | | | |
| Części metalowe — kolejność II | 760 / 2 | 380 | | | | | | | |
| Części metalowe — kolejność III | 240 / 2 | 120 | | | | | | | |
| Części drewniane skrzydła | 360 / 3 | 120 | | | | | | | |
| Główne zespoły skrzydła | 140 / 2 | 70 | | | | | | | |
| Szkielet skrzydła — operacja I | 320 / 4 | 80 | | | | | | | |
| Zestaw skrzydła — operacja II | 180 / 3 | 60 | | | | | | | |
| Skrzydła — operacja III | 120 / 2 | 60 | | | | | | | |
| Lotka | 120 / 1 | 120 | | | | | | | |
| Usterzenie | 340 / 4 | 85 | | | | | | | |
| Osłony laminatowe | 100 / 2 | 50 | | | | | | | |
| Części drewniane kadłuba | 440 / 4 | 110 | | | | | | | |
| Szkielet kadłuba — operacja I | 300 / 3 | 100 | | | | | | | |
| Zestaw kadłuba — operacja II | 230 / 3 | 77 | | | | | | | |
| Zestaw wstępny szybowca | 120 / 2 | 60 | | | | | | | |
| Prace tapicerskie | 280 / 3 | 93 | | | | | | | |
| Malowanie | 80 / 2 | 40 | | | | | | | |
| Montaż ostateczny | 160 / 3 | 53 | | | | | | | |
| Oblot | 120 / 4 | 30 | | | | | | | |

*Rys. 1-3. Graficzny przebieg wykonania szybowca*

## 1.5. PRZYGOTOWANIE TECHNOLOGICZNE

Prace związane z opracowaniem sposobu wykonania szybowca należą do technologów. Technologia jest wiedzą o wytwarzaniu przedmiotów z surowców i półfabrykatów.

Podstawowymi pracami w dziale technologicznym są: ustalenie procesów technologicznych wykonania części i montażu oraz konstrukcja oprzyrządowania. Z procesu technologicznego wynika zakres oprzyrządowania warsztatowego oraz ilość potrzebnego materiału. Na podstawie karty technologicznej można również ustalić pracochłonność wyrobu. Karta technologiczna pozwala na wcześniejsze skompletowanie przewidzianego materiału, narzędzi oraz pomocy warsztatowych. Pracownik ma na karcie technologicznej opracowaną kolejność czynności i skupia się tylko nad wykonaniem zadania.

Do technologów należy wytypowanie potrzebnych maszyn, urządzeń i narzędzi specjalnych oraz ustalenie materiałów potrzebnych do budowy oprzyrządowania oraz szybowca.

Na podstawie znanej pracochłonności planiści układają harmonogramy wykonywania części i poszczególnych zestawów oraz obciążenia poszczególnych gniazd produkcyjnych. Sporządza się również w formie graficznej przebieg wykonania szybowca (rys. 1-3).

Pracochłonność pełnego opracowania technologicznego równa się pracochłonności wykonania 3÷4 szybowców budowanych w krótkich seriach. Przygotowanie dokumentacji technologicznej jest pracą bardzo żmudną i odpowiedzialną. Każdy błąd pociąga za sobą zakłócenie rytmu pracy w produkcji, braki w półfabrykatach lub gotowych sztukach, zmiany i przeróbki. Odwrotnie, dobrze opracowana technologia zmniejsza zużycie materiałów, obniża pracochłonność wyrobu, wpływa na zmniejszenie kosztów wytwarzania oraz zapewnia właściwą jakość sprzętu.

Aby sprostać zadaniom stawianym przed technologią, technolodzy muszą stale zdobywać znajomość wielu dziedzin techniki i posiadać dużą praktykę warsztatową. Do pełnych kwalifikacji technologa dochodzi się znacznie dłużej niż do kwalifikacji konstruktora sprzętu. Przyjmuje się, że inżynier może się stać samodzielnym technologiem w ciągu 3 lat, a technik w ciągu 5 lat.

Rozdział 2

# DOKUMENTACJA KONSTRUKCYJNA

## 2.1. PODZIAŁ KONSTRUKCYJNO-FABRYKACYJNY

Konstruktor w czasie projektowania stosuje najczęściej tzw. podział konstrukcyjny. Jest to podział związany z charakterystycznymi częściami szybowca pod względem ich przeznaczenia. Według podziału konstrukcyjnego szybowiec składa się ze skrzydła, kadłuba, usterzenia, napędu hamulca itp.

W produkcji szybowców musi być stosowany podział fabrykacyjny, który może różnić się od podziału konstrukcyjnego (np. napęd hamulca musi być podzielony na napęd w skrzydle i kadłubie, musi być osobne skrzydło lewe i skrzydło prawe, jeżeli są to części rozłączne itd.). Jest on ściśle związany z możliwościami wykonawczymi. Istnieje ustalona zależność między kilkoma pojęciami podziału fabrykacyjnego.

Najwyższą jednostką tworzącą produkcyjnie samodzielną całość powinna być tzw. *grupa wykonawcza.* Równolegle do grupy wykonawczej stawia się *grupę montażową.* Grupa montażowa jest to zbiór poszczególnych części, który tworzy samodzielną całość dopiero po złożeniu go w konstrukcji szybowca.

Oprócz wymienionych grup występują w podziale fabrykacyjnym pojęcia ogólnie stosowane w budowie maszyn. Są zestawy, zespoły i elementy.

*Zestaw* jest jednostką montażową utworzoną z elementów i zespołów połączonych ze sobą rozłącznie za pomocą śrub, sworzni itp.

*Zespół* jest to nierozłączne połączenie elementów za pomocą kleju, lutu, spawania lub nitowania, związanych ze sobą wspólnym wykonywaniem określonych funkcji.

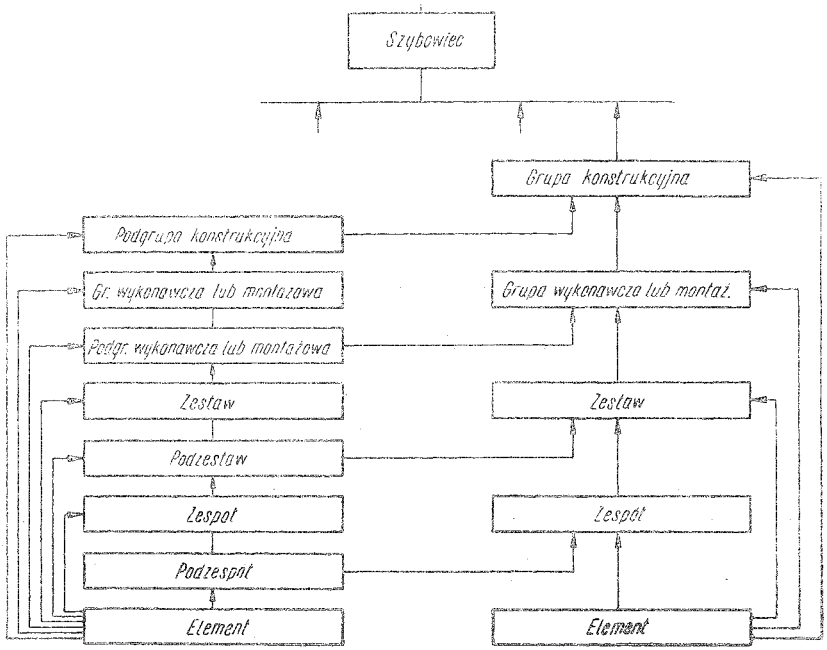
*Element* jest to podstawowy składnik szybowca produkowany oddzielnie, stanowiący najniższą jego jednostkę, wytworzony bez czynności montażowych i przeznaczony do spełnienia określonych funkcji.

Poza zasadniczymi członami podziału szybowca wyróżnia się w razie potrzeby człony pośrednie. Są to podzestawy, podzespoły itd.

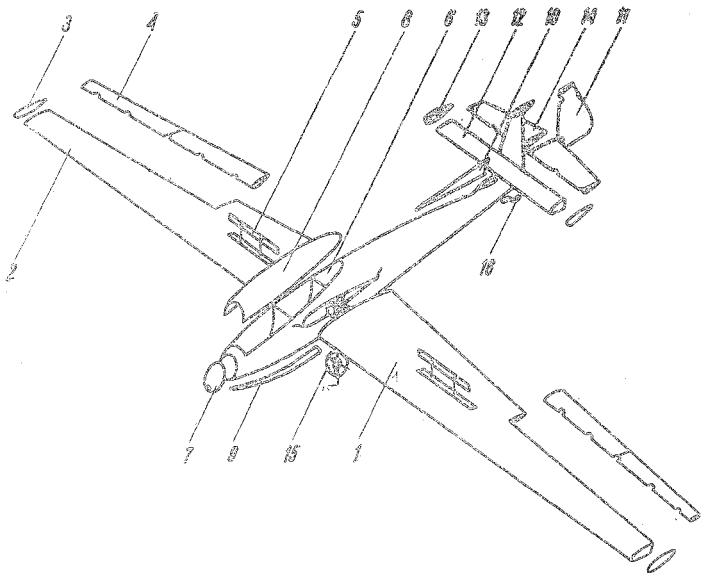
Schemat ogólny podziału konstrukcyjno-fabrykacyjnego pokazano na rysunku 2-1, a przykład rysunkowy — na rysunku 2-2.

Dla przykładu można podać żebro konstrukcji drewnianej jako typowy zespół. Składa się ono z podzespołów, takich jak: pas górny sklejany z listew, pas dolny sklejany z listew oraz klocki warstwowe sklejane. Elementami żebra są: listwy, rozpórki, węzły itp.

Zespołem drewnianym jest też np. dźwigar tylny skrzydła. Dźwigar




*Rys. 2-1. Ogólny schemat podziału konstrukcyjno-fabrykacyjnego*




*Rys. 2-2. Podział konstrukcyjno-fabrykacyjny*

*1* — skrzydło lewe, *2* — skrzydło prawe, *3* — osłona zakończenia skrzydła prawego, *4* — lotka prawa, *5* — hamulec aerodynamiczny, *6* — kadłub, *7* — kołpak przedni, *8* — osłona kabiny, *9* — płoza przednia, *10* — osłona statecznika kierunku, *11* — ster kierunku, *12* — statecznik wysokości, *13* — osłona statecznika wysokości, *14* — ster wysokości, *15* — podwozie, *16* — płoza tylna

ten wraz z okuciami tworzy zestaw „dźwigar tylny okuty" i wchodzi do grupy wykonawczej, jaką jest „szkielet kompletny skrzydła".

Typowym zestawem dla części metalowych jest np. zaczep startowy albo sterownica ręczna. Sterownica składa się z podzestawu, jakim jest drążek sterowy, a ten z kolei ma rękojeść, która jest elementem.

Części szybowcowe można również podzielić według stopnia zunifikowania: *część indywidualna* czyli niezunifikowana jest to element, zespół, zestaw lub grupa wykonawcza specyficzna dla danego typu szybowca, która nie jest objęta przedmiotem żadnej normy obowiązującej oraz nie jest typowa. *Część typowa* jest to część nie ujęta normą, powtarzająca się w różnych typach szybowców lub różnych grupach, zestawach i zespołach jednego szybowca. Część typowa w zależności od zakresu stosowania i stopnia ustalenia jej konstrukcji może przejść do kategorii części znormalizowanych.

*Część znormalizowana* jest to część będąca przedmiotem normy państwowej (PN), branżowej (BN) lub zakładowej (ZN).

## 2.2. NUMERACJA RYSUNKOWA

Z podziałem konstrukcyjno-fabrykacyjnym szybowca wiąże się ściśle numeracja rysunków konstrukcyjnych. Istnieją dwa systemy numeracji: szeregowy i grupowy. Powszechnie przyjmuje się system grupowy, który odpowiada podziałowi konstrukcyjnemu (rys. 2-3). Zazwyczaj schemat numeracji rysunkowej jest ustalony w wytwórni niezależnie od typu szybowca; jest to bardzo wygodne, gdyż pozwala ustalić pamięciowo przynależność danej części (rys. 2-4).

Konstruktora obowiązuje zasada, że rysunek przedstawia zawsze część produkcyjną. W komplecie rysunków produkcyjnych nie umieszcza się rysunków pomocniczych, np. objaśniających dodatkowo jakąś czynność.

Wychodząc z tej samej zasady rysunki wieloarkuszowe mają na poszczególnych arkuszach ten sam numer narysowanej np. grupy wykonawczej.

Każdy rysunek konstrukcyjny ma tabliczkę. Stosuje się tabliczki większe dla zespołów i mniejsze dla elementów. Obie tabliczki mają rubrykę „wymiar netto". Jak sama nazwa wskazuje, jest to wymiar dotyczący obrysu danej części, nie uwzględnia natomiast naddatków technologicznych umożliwiających wykonanie danej części. Właściwy wymiar potrzebny do wykonania części ustala dopiero technolog w karcie technologicznej.

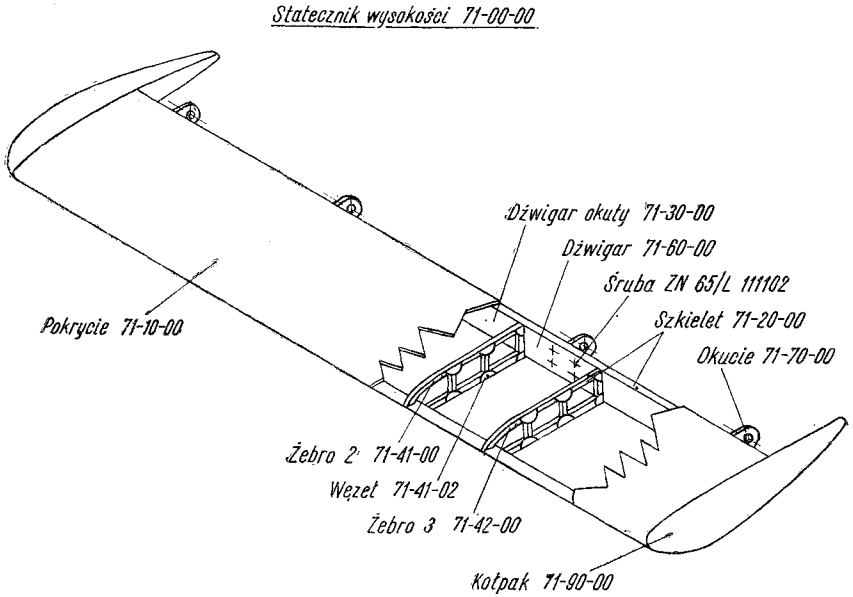
Nie wszystkie wymiary na rysunku mają odpowiednie pasowania lub odchyłki. Przy braku ich na rysunku obowiązuje tolerancja warsztatowa.

Rysunek uzupełnia się kilkoma uwagami dopełniającymi wymagania stawiane przez konstruktora. Są to: gatunek i grubość drutu spawalniczego, stopień ważkości połączenia spawanego, wymagana gładkość powierzchni części oraz sposób wykończenia krawędzi i stan końcowy materiału po obróbce cieplnej. Stany pośrednie potrzebne do uzyskania stanu zadanego przez konstruktora ustala technolog w kartach technologicznych. Podaje również sposób zabezpieczenia antykorozyjnego, miejsce cechowania części oraz miejsce stempla kontroli technicznej. Przy posługiwaniu się jednym rysunkiem dla części lewej i prawej spotyka się uwagę: „Narysowana część lewa, prawa symetryczna".

| Grupa konstrukcyjna | Grupa wykonawcza lub montażowa | Zestaw, zespół, element |
|---|---|---|
| 10 Skrzydło kompletne | 11 Skrzydło prawe szkielet | -00-01 podłużnica górna<br>-01-00 nosek 1 okuty |
| | 12 Zespoły poprzeczne | -01-00 nosek 1<br>-02-00 nosek 2 |
| | 13 Zespoły wzdłużne | -90-00 dźwigarek |
| | 14 Okucia | -10-00 okucie nośne przednie |
| | 15 Osłony | -60-00 osłona zakończenia |
| | 16 Zastrzał | -20-00 okucie |
| | 17 Instalacja oświetleniowa | |
| 20 Mechanizacja skrzydła | 21 Lotka prawa | -01-00 pokrycie malarskie<br>-10-00 dźwigar okuty |
| | 22 Klapa prawa | -05-00 dźwigar okuty<br>-16-00 szkielet |
| | 23 Klapka wyważająca | |
| | 24 Hamulec aerodynamiczny | |
| 30 Napędy w skrzydle | 31 Napęd lotki | -10-00 napęd linkowy<br>-30-00 okucie |
| | 32 Napęd klapy | -20-00 napęd popychaczowy<br>-36-00 okucie |
| | 33 Napęd klapki wyważ. | -10-00 napęd linkowy |
| | 34 Napęd hamulca aer. | |
| 40 Kadłub kompletny | 41 Szkielet | -00-03 podłużnica dolna<br>-12-00 wręga 3 okuta |
| | 42 Zespoły poprzeczne | -12-00 wręga 3 |
| | 43 Zespoły wzdłużne | -68-00 dźwigarek siodełka |
| | 44 Okucia | -12-00 okucie nośne przednie |
| | 45 Osłony | -10-00 kołpak przedni |
| 50 Podwozie | 57 Podwozie przednie | -10-00 płoza przednia okuta<br>-20-00 płoza przednia<br>-30-00 okucie |
| | 58 Podwozie główne | -10-00 szkielet<br>-30-00 osłona |
| | 59 Podwozie tylne | -10-00 płoza ślizgowa okuta |
| 60 Napędy w kadłubie | 61 Napęd lotki | -10-00 napęd linkowy |
| | 62 Napęd klapy | -20-00 napęd popychaczowy |
| | 63 Napęd klapki wyważ. | -31-00 okucie boczne |
| | 64 Napęd hamulca aerod. | -10-00 napęd linkowy |
| | 65 Napęd steru kierunku | -21-00 napęd popychaczowy |
| | 66 Napęd steru wysokości | -30-00 okucie |

| Grupa konstrukcyjna | Grupa wykonawcza lub montażowa | Zestaw, zespół, element |
|---|---|---|
| 70 Usterzenia | 71 Statecznik wys. prawy | -01-00 pokrycie malarskie |
| | 72 Statecznik wys. lewy | -30-00 dźwigar okuty |
| | 73 Klapka wyważająca | -20-00 żeberko 3 |
| | 74 Statecznik kierunku | -10-00 pokrycie |
| | | -40-00 żebro 5 |
| | 75 Ster kierunku | -60-00 dźwigar |
| 80 Wyposażenie | 81 Pasy pilota | |
| | 82 Pokrowce | |
| | 83 Komplet narzędzi | |
| | 87 Instalacja tlenowa | |
| | 88 Instalacja radiowa | |
| Numery grup wykonawczych, montażowych, zestawów, zespołów i elementów podane są przykładowo. | | |

*Rys. 2-3. Schemat numeracji rysunków*




*Rys. 2-4. Przykład numeracji grupy wykonawczej*

## 2.3. WYMAGANIA TECHNICZNE

Nie wszystkie uwagi dotyczące szybowca da się umieścić na rysunku konstrukcyjnym. Dlatego oprócz dokumentacji rysunkowej każdy wyrob ma tzw. „wymagania techniczne".

Wymagania techniczne podają na wstępie charakterystykę typu szybowca, jego zasadnicze wymiary w stanie złożonym i rozłożonym, główną geometrię szybowca, podział konstrukcyjno-fabrykacyjny, dopuszczalne wielkości szczelin i wychyleń części ruchomych, stan powierzchni zewnętrznej itp.

Wymagania podają również wykaz stosowanych materiałów, obowiązujących procesów technologicznych, zakres wymienności części, obowiązujące tolerancje wykonania, wielkości naciągu linek sterowania i sił tarcia oraz ciśnienia w dętce.

Ustalane są również wymagania ciężarowe, zakres dodatkowego wyposażenia i dokumentów towarzyszących. Podane są wymagania ogólne co do napisów zewnętrznych i wewnętrznych, zabezpieczania połączeń montażowych oraz metod kontroli jakości części, działania urządzeń i wyposażenia oraz zakresu prób w locie.

Rozdział 3

# WYMIENNOŚĆ CZĘŚCI

W wymaganiach technicznych szybowca ustalony jest zakres wymienności części. Wiąże się on ściśle z opisanym podziałem konstrukcyjno-fabrykacyjnym i musi być znany na początku projektowania szybowca.

Zakres wymienności wypływa z potrzeb eksploatacji szybowca, jak również z warunków produkcji seryjnej. Prowadzi się bowiem jednoczesną budowę grup wykonawczych, które po zamontowaniu powinny do siebie pasować.

Najczęściej wymagana jest wymienność:
— kadłub-skrzydło,
— kadłub-podwozie,
— kadłub-szkielet osłony kabiny,
— kadłub-statecznik wysokości,
— skrzydło-lotka,
— statecznik wysokości-ster wysokości,
— statecznik kierunku-ster kierunku.

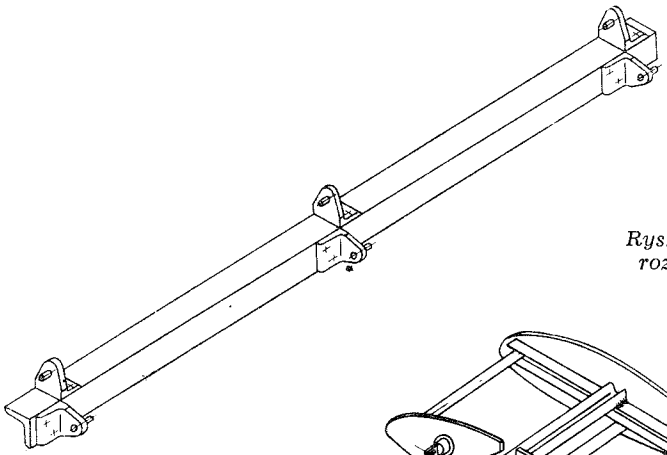
Jak widać, wymienność może występować pomiędzy częściami złączonymi ze sobą na stałe lub częściami ruszającymi się względem siebie. W obu przypadkach części są spięte elementami łączącymi. Zachodzi zatem potrzeba zgodności dwóch części pod kilkoma względami, a mianowicie:
1) pomiędzy elementem łączącym a otworami w okuciu i przeciwokuciu,
2) na rozstawie okuć i przeciwokuć,
3) na obrysie zewnętrznym łączonych części.

Pierwszą zgodność zapewnia układ pasowań stosowany w budowie maszyn.

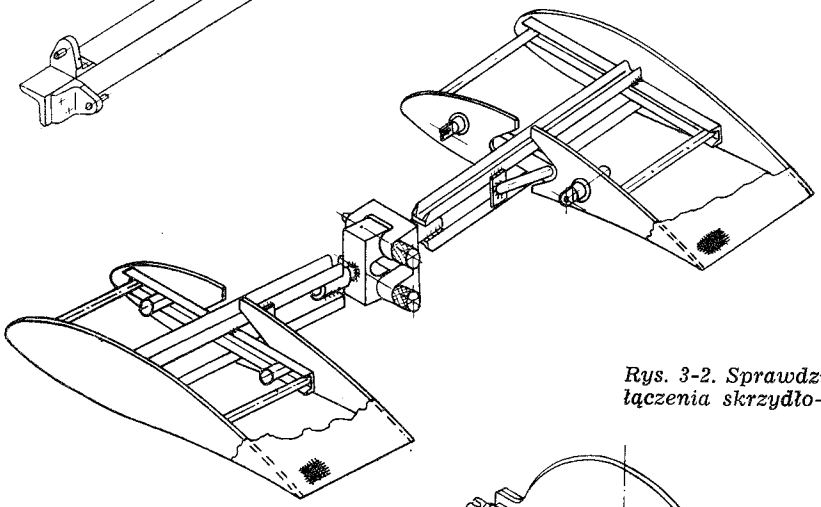
Konstruktor posługuje się bardzo często częściami znormalizowanymi, które wykonywane są według ustalonych norm przedmiotowych. Normy przedmiotowe podają wymiary, materiał wyjściowy, warunki techniczne wykonania i sposób zabezpieczenia antykorozyjnego.

Spotyka się rozwiązania konstrukcyjne polegające na stosowaniu elementów łączących o powierzchniach walcowych, stożkowych i kulistych. Najłatwiej uzyskuje się wymienność zespołów w przypadku zastosowania przez konstruktora elementów o powierzchniach stożkowych lub walcowych rozprężnych.

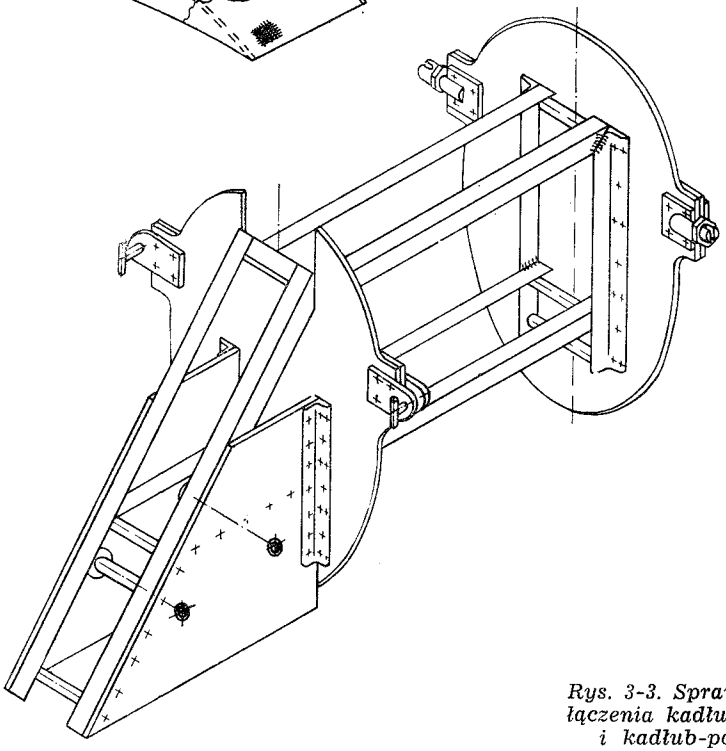
Zgodność rozstawu okuć i obrysów zewnętrznych może zapewnić tylko oprzyrządowanie produkcyjne. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych sprawdzianów zapewniających wymienność grup wykonawczych szybowca podano na rysunkach od 3-1 do 3-9.



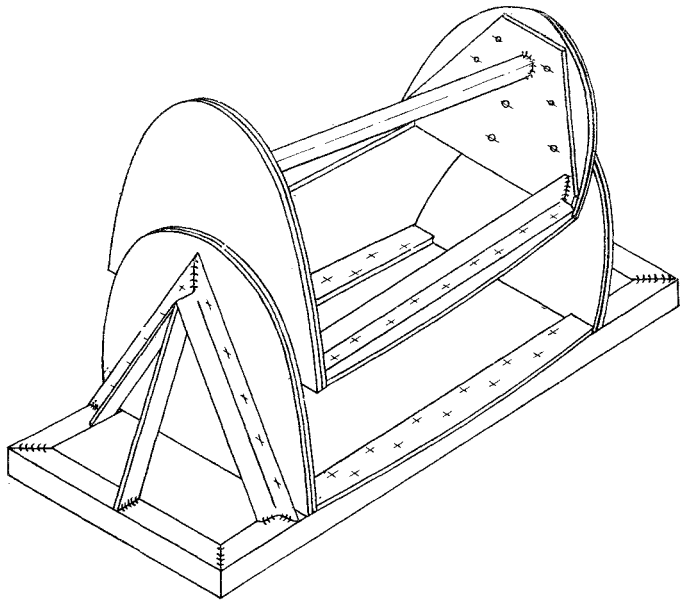
*Rys. 3-1. Sprawdzian rozstawu okuć lotki*



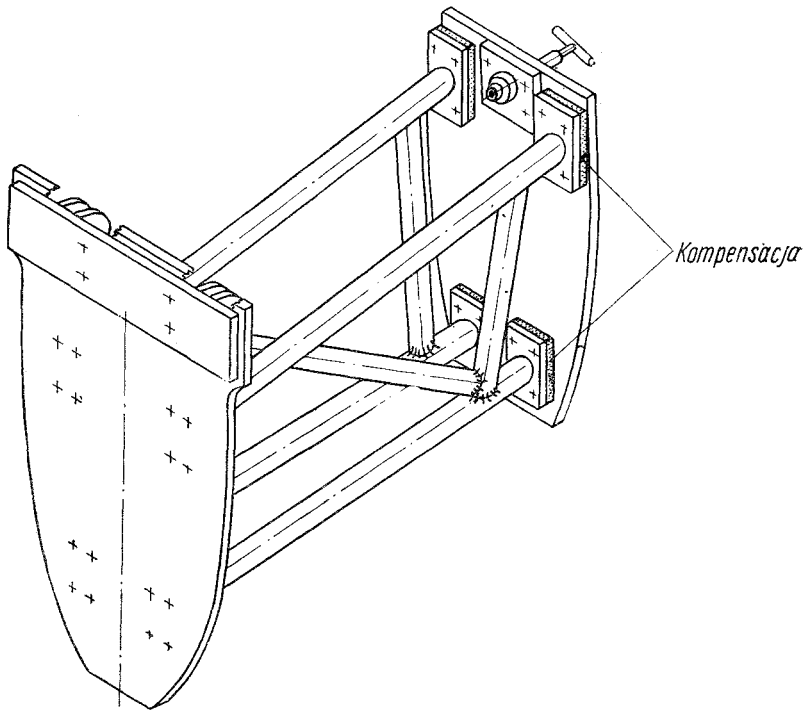
*Rys. 3-2. Sprawdzian połączenia skrzydło-kadłub*



*Rys. 3-3. Sprawdzian połączenia kadłub-skrzydło i kadłub-podwozie*

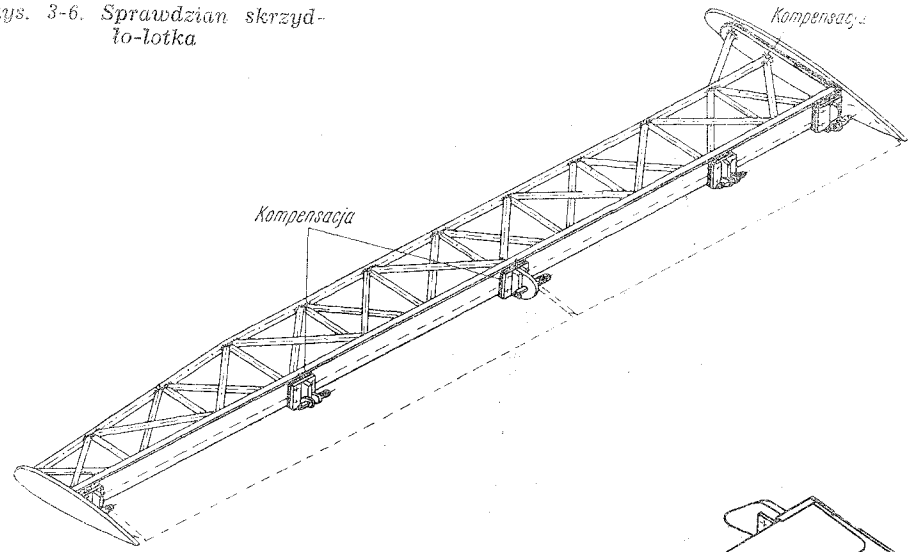


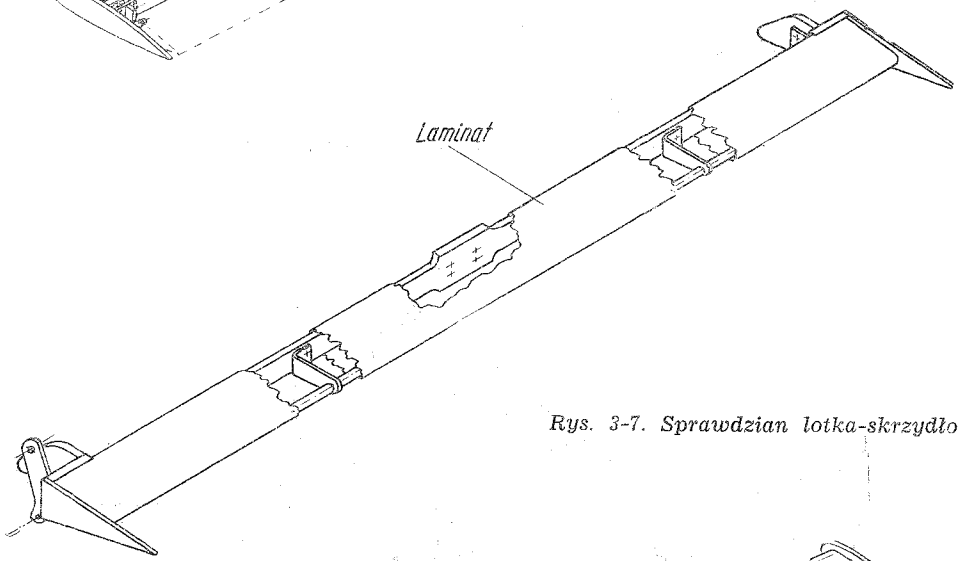
*Rys. 3-4. Sprawdzian kadłub-szkielet osłony kabiny*



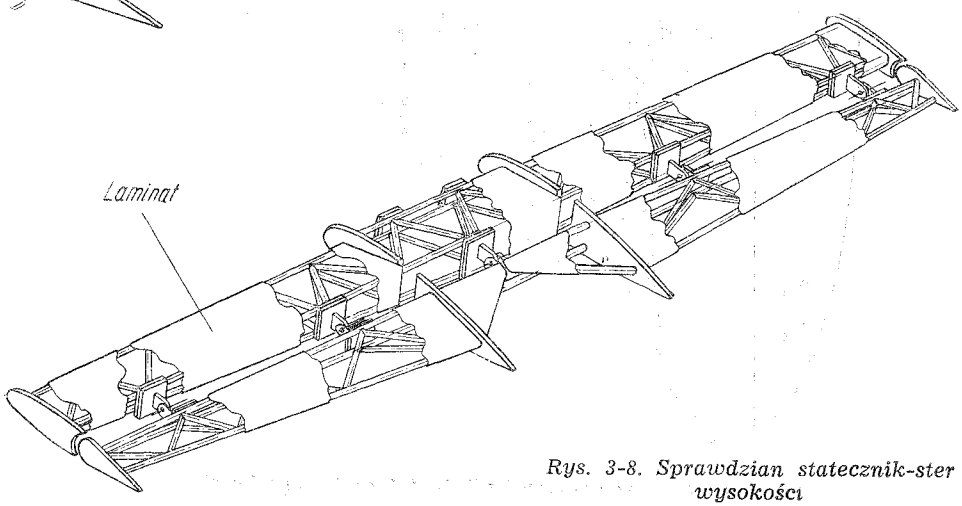

*Rys. 3-5. Sprawdzian kadłub-statecznik wysokości*

Rys. 3-6. Sprawdzian skrzydło-lotka



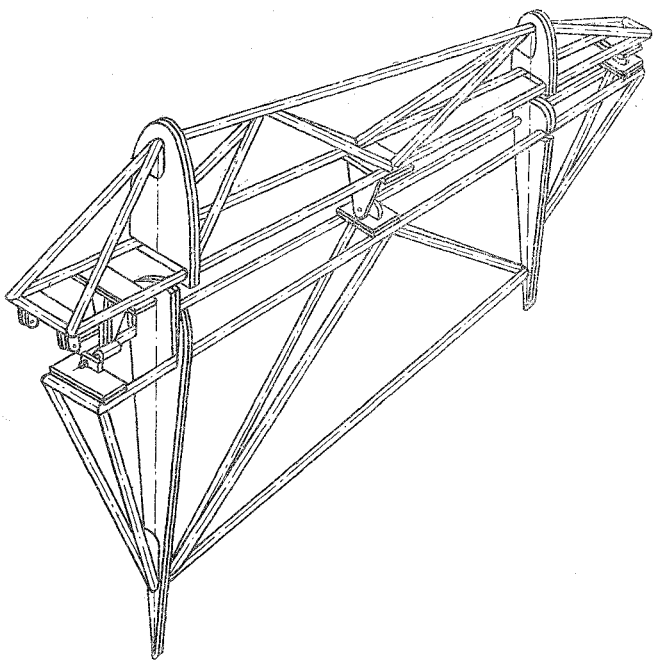




Rys. 3-7. Sprawdzian lotka-skrzydło




Rys. 3-8. Sprawdzian statecznik-ster wysokości

Zasada projektowania sprawdzianów polega na wykonaniu takich samych części lub ich fragmentów, jakie zaprojektował konstruktor, z tym tylko, że ściśle zachowane są punkty styku obu części oraz obrysy zewnętrzne, które mają się ze sobą pokrywać. Punkty i obrysy sprawdzianów łączy się konstrukcją wypełniającą. Rozstawy okuć obowiązuje duża dokładność względna, natomiast otwory i części łączące — dokładność bezwzględna, zgodnie z ustalonymi tolerancjami.



*Rys. 3-9. Sprawdzian statecznik-ster kierunku*

Oprzyrządowanie powinno być dostatecznie sztywne i pozbawione naprężeń wewnętrznych. Stosuje się konstrukcje stalowe spawane z kątowników i rur.

W konstrukcjach szybowcowych występują bardzo cienkie profile aerodynamiczne na dużych rozpiętościach, stąd też uzyskanie sztywnych sprawdzianów jest bardzo trudne. Oprócz mocnego wykratowania przestrzennego stosuje się usztywnianie całości za pomocą grubych powłok laminatowych.

Punkty geometryczne sprawdzianów ustawia się na płytach traserskich przy zastosowaniu normalnych zasad trasowania. Bardzo pomocne jest stosowanie kompensacji we wszystkich węzłach i wzornikach ustawianych na płycie (rys. 3-5 i 3-6). Powierzchni dwóch części łączonych nie styka się ze sobą. Stosuje się śruby regulacyjne. Po całkowitym ustawieniu części za pomocą śrub zalewa się szczelinę masą cementowogipsową.

Sprawdziany służą do ustawiania przyrządów montażowych oraz weryfikacji ich w czasie produkcji. Sprawdzian jest nieodzowną pomocą warsztatową przy produkcji seryjnej wykonywanej na stałym oprzyrzą-

dowaniu. Musi być bardzo troskliwie przechowywany i konserwowany. Oznacza się go kolorem czerwonym. Powierzchnie pracujące sprawdzianów nie są malowane.

Z wymiennością łączą się dwa pojęcia: wymienność zupełna i niezupełna. Wymienność niezupełna zapewnia wprawdzie zgodność ze sobą dwóch części, ale wiąże się z nią konieczność wykonania drobnych czynności przy montażu, jak przewiercenie lub rozwiercenie otworu.

W budowie szybowców najczęściej stosuje się jednak wymienność niezupełną, chociaż nie gwarantuje ona całkowitej zamienności poszczególnych części między dowolnymi szybowcami.

Rozdział 4

# ODWZOROWANIE GEOMETRII SZYBOWCA

W nowoczesnych konstrukcjach szybowcowych zachowanie poprawnego kształtu zewnętrznego stało się pierwszym warunkiem do potwierdzenia w locie teoretycznych własności sprzętu, założonych przez projektanta. Problem ten stara się rozwiązać zarówno konstruktor przez stosowanie nowych metod konstrukcyjnych gwarantujących otrzymanie jak najsztywniejszych powłok, jak i technolog przygotowujący produkcję szybowca.

Otrzymanie w produkcji zadanych kształtów łączy się ściśle z zastosowaniem właściwego oprzyrządowania warsztatowego. Oprzyrządowanie to musi zapewniać poprawne wykonanie części i powłok zewnętrznych oraz poprawne zestawienie całych zespołów wraz z ich okuciami. Istnieje kilka rodzajów oprzyrządowania warsztatowego. Geometrię szybowca gwarantują wzorniki, foremniki i przyrządy montażowe. Wymienione grupy oprzyrządowania powinny być budowane według z góry przyjętej metody.

W lotnictwie stosowane są następujące metody odtwarzania geometrii płatowca: płytowo-strunowa, płytowo-wzornikowa, dokowo- i optyczno-pomiarowa oraz makietowa.

## 4.1. METODA PŁAZOWO-STRUNOWA

W budowie szybowców przyjęła się obecnie metoda płazowo-strunowa. Głównym elementem tej metody jest pomoc warsztatowa zwana wzornikiem. Wzorniki rozpięte na strunach służą do ustawienia przyrządów montażowych. Ze względu na użytkowanie rozróżnia się wzorniki produkcyjne, czyli robocze, i wzorniki kontrolne, czyli sprawdziany.

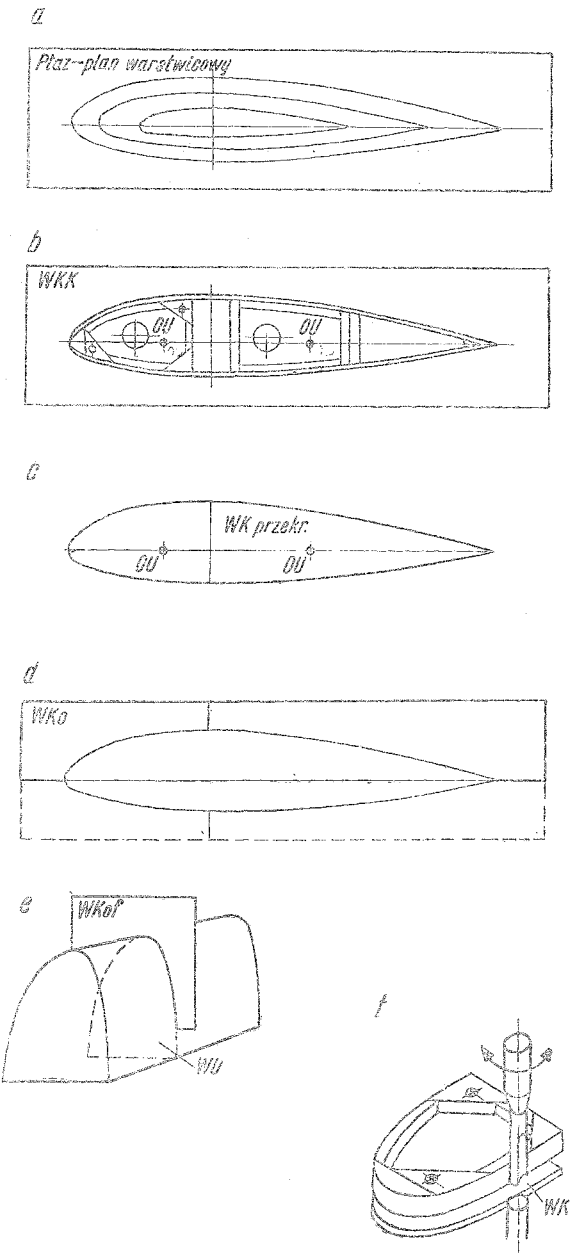
W opisanej metodzie pierwszym etapem jest wykonanie wzorców. Do wzorców należą płaz oraz wzorniki kontrolne konturów (WKK), inaczej sprawdziany kontrolne obrysów.

Płaz w swym założeniu jest to dokładnie wykonany na płycie rysunek geometrii szybowca w naturalnej wielkości. Rysunek wykonuje się w tolerancji $\pm 0{,}1$ mm. Na płazie wyznacza się położenie głównych osi i obrys teoretyczny całego szybowca oraz poszczególne przekroje poprzeczne, najczęściej w miejscach żeber i wręg. Do wyznaczenia tych przekrojów służą współrzędne podane przez konstruktora.

W przypadku przekrojów symetrycznych wyznacza się obrys teore-

tyczny tylko połówki, gdyż praktycznie nie da się narysować dwóch jednakowych połówek.

Płaz służy również do skorygowania wyznaczonych obrysów teoretycznych według współrzędnych podanych przez konstruktora. W tym celu trzeci rzut skrzydła, kadłuba i usterzenia wykonuje się w postaci planu warstwicowego (rys. 4-1*a*). Jest to zbiór przekrojów poprzecz-




*Rys. 4-1. Przykłady wzorców i wzorników*

nych nanizanych na wspólną oś. Połączenie poszczególnych punktów (wyznaczonych za pomocą współrzędnych) skrajnych przekrojów danego zespołu pozwala na korektę punktów pośrednich, a przez to uzyskanie płynności powierzchni.

Na płazie wyznacza się również położenie okuć oraz zawiasów części sterujących i przebiegi poszczególnych napędów. W praktyce płaz można dzielić na części. Na przykład osobno wykonuje się plan warstwicowy oraz płyty z położeniami okuć i zawiasów.

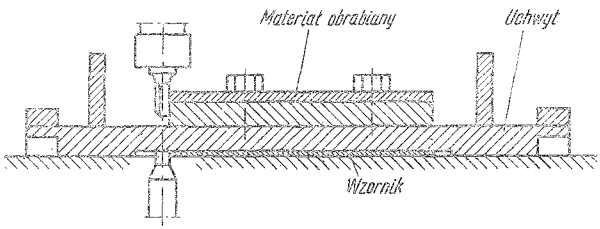
Na płazie podaje się pełną informację odnośnie geometrii obrysów teoretycznych, położeń okuć i napędów. Pełną informację na temat budowy szybowca wewnątrz uzyskuje się przez wykonanie wymienionych już wzorników kontrolnych konturów (WKK, rys. 4-1*b*).

Wzornik WKK ma przeniesiony z płazu obrys teoretyczny wraz z osiami części wzdłużnych i dorysowane linie grubości pokryć, dźwigarów, listew natarcia i spływu, rozpórek, położenia otworów, przez które przechodzą napędy itp. Ma również wyznaczone miejsca otworów tzw. ustawczych (OU) do budowy przyrządów montażowych.

Płaz i wzornik WKK są wzorcami wszystkich dalszych pomocy warsztatowych odwzorowania geometrii. Płyty z rozrysowanymi położeniami okuć i zawiasów służą do budowy sprawdzianów wymienności, wzornik WKK zaś do wykonania wzorników pochodnych.

Do ustawienia przyrządów montażowych służą sprawdziany wymienności oraz wzorniki konturu przekroju (WK przekr.), inaczej sprawdziany przekroju (rys. 4-1*c*). Wzorniki WK przekr. wykonuje się na podstawie wzorników WKK. Są to wypiłowane ręcznie przez ślusarzy-wzorcarzy blachy, najwygodniej duralowe, o obrysie pokrywającym się z obrysem teoretycznym. Tolerancja wykonania równa jest $\pm 0{,}1$ mm. Wzornik ma również wywiercone otwory ustawcze (OU). Służą one do ustawienia przyrządów montażowych za pomocą struny z drutu. Wzorniki WK przekr. sprawdza się do wzorców WKK.

Wzornikiem przeciwnym do WK przekr. jest wzornik kontrolny obrysu (WKO), inaczej sprawdzian obrysu przekroju (rys. 4-1*d*). Wzornik ten piłuje się również z blachy sposobem ręcznym z dokładnością do $^{+0{,}1}_{+0{,}2}$ mm i sprawdza ze wzornikiem WKK. Wzornik WKO musi objąć sobą wzornik WK przekr. Wzorniki WKO służą do sprawdzania obrysów gotowych części oraz do wykonania obejm przyrządów montażowych. Najłatwiej roboczą krawędź obejmy frezuje się na frezarko-kopiarce szybkoobrotowej używając jako kopiału wzornika WKO. Przykład frezowania blachy na frezarce tego typu pokazano na rysunku 4-2.




*Rys. 4-2. Przykład kopiałowego frezowania blachy*

Wzornikiem potrzebnym do budowy foremników, na których przygotowuje się pokrycia i osłony szybowca, jest wzornik kontrolny obry-

su foremnika (WKOf), inaczej — sprawdzian obrysu foremnika (rys. 4-1*e*). Wzornik ten jest odpowiednikiem wzornika WKO, z tym tylko, że ma krawędź roboczą zgodną z obrysem teoretycznym pomniejszonym o grubość pokrycia szkieletu szybowca. Krawędź wykonuje się z łatwością na frezarce-kopiarce przy odpowiednim ustawieniu kołka prowadzącego, używając jako kopiału wzornika WKO.

Dotychczas omawiane wzorniki: WKK, WK przekr., WKO, WKOf są wzornikami kontrolnymi, czyli sprawdzianami.

Oprócz nich stosuje się w produkcji wzorniki robocze.

Wzornik konturu (WK, rys. 4-1*f*) wykonuje się z blachy metodą kopiowania na frezarce przy użyciu wzornika WK przekr. jako kopiału. Wzornik WK służy jako kopiał do frezowania wykończającego żeber, wręg, dźwigarków itd. i wówczas jest malowany na kolor zielony. Może również służyć do sprawdzania wykonanych części szybowca i wówczas jest malowany na kolor niebieski jako narzędzie kontrolne.

Innym wzornikiem roboczym jest wzornik rozwinięcia (WR), który ma zastosowanie przy wykonywaniu wykrojników blach. Wzornik ten w zależności od potrzeb wykonuje się z blachy lub sklejki przy użyciu wzornika WK oraz rysunku konstrukcyjnego.

Istnieją jeszcze wzorniki trasowania, które wykonuje się z różnych materiałów, zależnie od potrzeb.

Do budowania foremników przestrzennych używa się również wzorników. Wówczas stosuje się wzorniki urządzenia (WU, rys. 4-1*e*). Wzornik urządzenia ma krawędź roboczą zgodną z obrysem teoretycznym pomniejszonym o grubość pokrycia szkieletu szybowca, czyli pokrywa się z krawędzią roboczą wzornika WKOf. Wzornik WU wykonuje się przez frezowanie z kopiału, jakim jest wzornik WK. Wzorniki WU tworzą szkielet, który zalewa się tworzywami sztucznymi.

Wzorniki robocze ulegają zużyciu na krawędziach roboczych, dlatego wymagają okresowej kontroli. Kontrolę przeprowadza się posługując się wzornikami kontrolnymi, czyli sprawdzianami, które pozostają w dyspozycji kontroli technicznej.

### 4.2. FOTOCHEMICZNA METODA POWIELANIA TRASY

Do omówienia pozostaje jeszcze technika samego trasowania i powielania trasy. Obecnie przyjęła się metoda powielania trasy z wzorców przezroczystych, jakimi są wzorniki kontrolne konturu WKK. Stosuje się metodę fotochemiczną.

Wzornik kreśli się czarnym tuszem na przezroczystej folii zwanej „astrolon". Folia nie jest wrażliwa na skurcz spowodowany zmianami temperatury i wilgotności. Jedna powierzchnia folii jest półmatowa i na niej kreśli się tuszem. Podczas kreślenia należy przestrzegać całkowitej czystości, gdyż najmniejsze zanieczyszczenie lub zatłuszczenie folii, np. od dotyku palcem, powoduje brak przyczepności tuszu. Przy kreśleniu obrysów teoretycznych obowiązuje tolerancja $\pm 0{,}1$ mm, którą sprawdza się za pomocą lupy o powiększeniu pięciokrotnym. Podkreśla się z całym naciskiem, że tak ścisła tolerancja kreślenia obowiązuje tylko w zakresie obrysu teoretycznego, natomiast całe wnętrza poszczególnych przekrojów poprzecznych (żebra, wręgi) powinny być kreślone z normalną tolerancją obowiązującą przy kreśleniu technicznym na kalce kreślarskiej.

Wykonany wzornik na folii daje się łatwo zrolować i jest łatwy w przechowywaniu. Należy podać jeszcze uwagę praktyczną, że wszystkie napisy powinny być umieszczone wewnątrz obrysu teoretycznego, gdyż inaczej odpadną one po wycięciu wzornika. Ze względu na oszczędność blachy, na którą przenosi się trasę z wzornika WKK, należy stosować jak najmniejsze formaty poszczególnych folii. W metodzie fotochemicznej bowiem trzeba folię dokładnie docisnąć do blachy za pomocą podciśnienia, a arkusze folii powinny być poukładane jeden koło drugiego w celu pełnego wykorzystania powierzchni. Nie wolno natomiast brzegów arkuszy folii nakładać na siebie.

Blachy, z których chce się wykonywać wzorniki, powinny być odpowiednio przygotowane. Do czynności przygotowawczych należy oczyszczanie mechaniczne i chemiczne z płukaniem w ciepłej wodzie. Na oczyszczoną powierzchnię nanosi się emulsję światłoczułą (negatywową) za pomocą gąbki lub zanurzeniowo. Następnie emulsję suszy się naturalnie około 24 godzin lub przez wygrzewanie w suszarce w temperaturze do 60°C lub przez nagrzewanie promiennikami podczerwieni przez okres około 3 godzin. Ze względu na czułość emulsji lepiej jest suszyć blachy w ciemni.

Trasy z folii na blachy kopiuje się stykowo, najlepiej w specjalnej ramie z przyciskiem podciśnieniowym do płyty szklanej. Nieszczelne przyleganie folii do blachy z emulsją powoduje zamazaną kopię, rozmyte linie itd. Kopiowanie polega na naświetlaniu przez kilka minut trasy wzornika za pomocą światła ultrafioletowego.

Następnie rysunek wywołuje się na blasze przez 1-minutowe płukanie w przygotowanym wywoływaczu zawierającym czerń. Po wyciągnięciu blachy z wywoływacza stosuje się płukanie w lekkim strumieniu ciepłej wody.

Przy źle oczyszczonej powierzchni blachy występują nieciągłości lub brak fragmentów rysunku. Charakterystyczne jest również pocienianie grubości linii aż do jej przerwania, spowodowane dyfundowaniem części światła poza linię naniesioną tuszem. Zjawisko to jest związane z długością czasu naświetlania.

Opisaną metodą można również nanosić trasę na inne materiały, które spełniają warunki wymaganego procesu.

### 4.3. FOREMNIKI

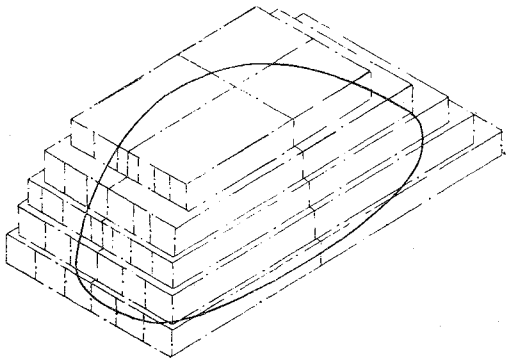
Oprócz wzorników również foremniki zapewniają w procesie budowy szybowca poprawność jego wykonania.

Foremnikami są wszystkie przyrządy warsztatowe do gięcia i formowania przestrzennego. Foremnik może być stemplem lub matrycą. W budowie szybowców spotyka się duży asortyment foremników do kształtowania okuć metalowych, przeważnie o małych wymiarach, foremniki do gięcia i klejenia listew, pasów i pokryć sklejkowych oraz foremniki do kształtowania osłon blaszanych oraz z tworzyw sztucznych.

Stosuje się foremniki drewniane, z drewna uszlachetnionego o nazwie lignofol, z metalu oraz z tworzyw sztucznych. Wszystkie procesy gięcia i kształtowania przeprowadza się na zimno, nie jest więc przeszkodą ewentualny brak odporności materiału na wysokie temperatury.

Wszystkie foremniki do części drewnianych wykonuje się z miękkiego drewna sosnowego, zaś w przypadku obciągania blach — z twardego drewna jesionowego lub bukowego. Drewno może być gatunku II i III. Do kle-

jenia używa się kleju kazeinowego lub fenolowo-formaldehydowego AG. Ze względu na łatwość paczenia się, foremnik powinien być wykonywany z bloku klejonego z szeregu listew (rys. 4-3). Listwy przycinane z desek powinny mieć wymiary przekroju od 20 do 60 mm, przy czym bardzo ważny jest właściwy dobór kierunków słoi na przekroju. Poprawne kierunki podane są na rysunku 4-7. Kąt nachylenia słoi nie powinien być mniejszy niż 30°. Wilgotność drewna powinna się zawierać w granicach 8÷15%.



*Rys. 4-3. Przykład budowy foremnika drewnianego*

Materiał na foremniki klei się z uprzednio poklejonych płyt. Powierzchnie do klejenia powinny być przestrugane na strugarce grubościowej.

Właściwy kształt nadaje się foremnikowi sposobem ręcznego ciosania, dłutowania, strugania i piłowania. Do kontroli kształtu służą wzorniki. Bryłę najlepiej ułożyć na płycie i wyznaczyć miejsca kontrolowanych przekrojów, następnie wykonywać rowki na głębokość zbliżoną do końcowej powierzchni foremnika, przystawiając wzornik. Po otrzymaniu przekrojów kontrolowanych wyprowadzić w stosunku do nich całą powierzchnię. Bardzo przydatne jest posługiwanie się giętką listewką brzozową lub bukową przy kontroli płynności przejść. Powierzchnię wykańcza się za pomocą cykliny i papieru ściernego.

Powierzchnie robocze pokrywa się lakierem nitrocelulozowym, a powierzchnie nierobocze — pokostem.

Na powierzchni foremnika nanosi się trasę za pomocą rysików stalowych i napuszczania tuszem kreślarskim.

Foremniki drewniane należy przechowywać w pomieszczeniach suchych nie wykazujących znacznych różnic temperaturowych.

Foremniki drewniane są również konstrukcji szkieletowej. Są one wówczas lżejsze. Sposób wykonania powierzchni roboczych foremników szkieletowych jest taki sam jak foremników pełnych.

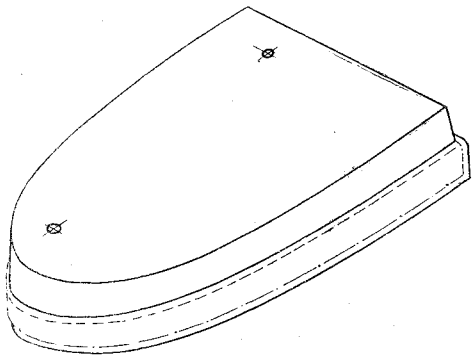
Foremniki z lignofolu znajdują zastosowanie przy obróbce plastycznej blach.

Lignofol otrzymuje się z fornirów drewna brzozowego lub bukowego nasyconych żywicą fenolową i prasowanych pod ciśnieniem od 100 do 300 at w temperaturze 90÷150°C, w czasie do 150 min.

Produkuje się kilka rodzajów lignofolu, zależnie od ułożenia forniru:
— równolegle-włóknisty,
— krzyżowo-włóknisty,
— gwiaździsto-włóknisty,

— samosmarowny,
— skrawkowy.

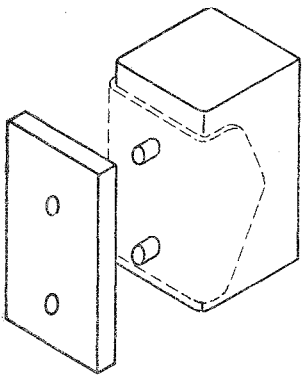
Na foremniki używa się lignofolu tak krzyżowo-, jak i równolegle-włóknistego. Lignofol ma dobre własności mechaniczne, dużą odporność na warunki atmosferyczne i dużą stałość wymiarową. Jest produkowany w postaci płyt o wymiarach 500×1500 mm lub 1000×1500 mm i różnych grubościach. Cechuje go znacznie łatwiejsza obrabialność od stali. Nie wymaga konserwacji i smarowania podczas tłoczenia (rys. 4-4 i 4-5).



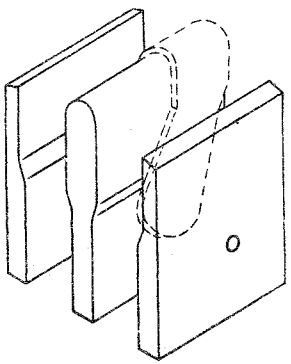
*Rys. 4-4. Foremnik lignofolowy do zaginania żeberka z blachy duralowej*

Lignofol można kleić klejem epoksydowym, nitować i gwintować. Powierzchnie wytłoczek nie są porysowane.

Powierzchnie foremników lignofolowych można uzupełniać kitem epoksydowym.



*Rys. 4-5. Foremnik lignofolowy do ręcznego gięcia okucia*



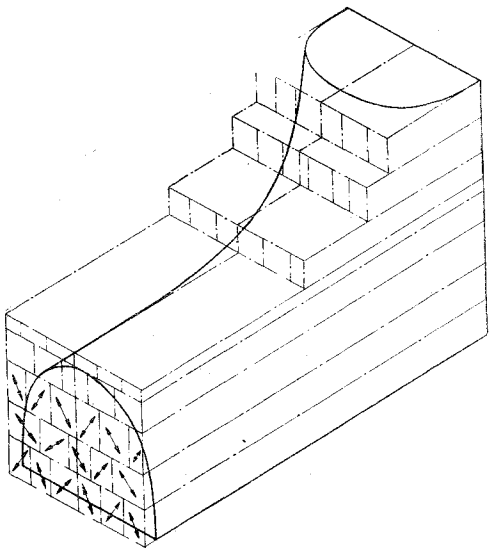
*Rys. 4-6. Foremnik stalowy do ręcznego gięcia okucia*

Foremniki stalowe (rys. 4-6) nie wymagają specjalnego omówienia.

Obecnie coraz większe zastosowanie mają foremniki z tworzyw sztucznych. W odróżnieniu od foremników drewnianych, lignofolowych i stalowych, wykonuje się je sposobem przesycania ręcznego tkaniny szklanej ciekłą masą (laminat) lub odlewania. Zarówno jeden, jak i drugi sposób wymaga wykonania najpierw modelu.

Model jest raz używany do wykonania foremnika. Modele wykonuje się z drewna, pełne lub szkieletowe, podobnie jak foremniki (rys. 4-7).

Przy bardzo dużych modelach lub dla części obrotowych wskazane jest użycie gipsu jako masy wypełniającej szkielet zbudowany z wzorników WU. Do formowania stosuje się gips wolnowiążący. Powierzchnię roboczą konserwuje się lakierem przed wpływami wilgoci.



*Rys. 4-7. Przykład budowy modelu drewnianego*

Ze względów wykonawczych należy zawsze dążyć do wykonywania modelu wypukłego, a nie wklęsłego.

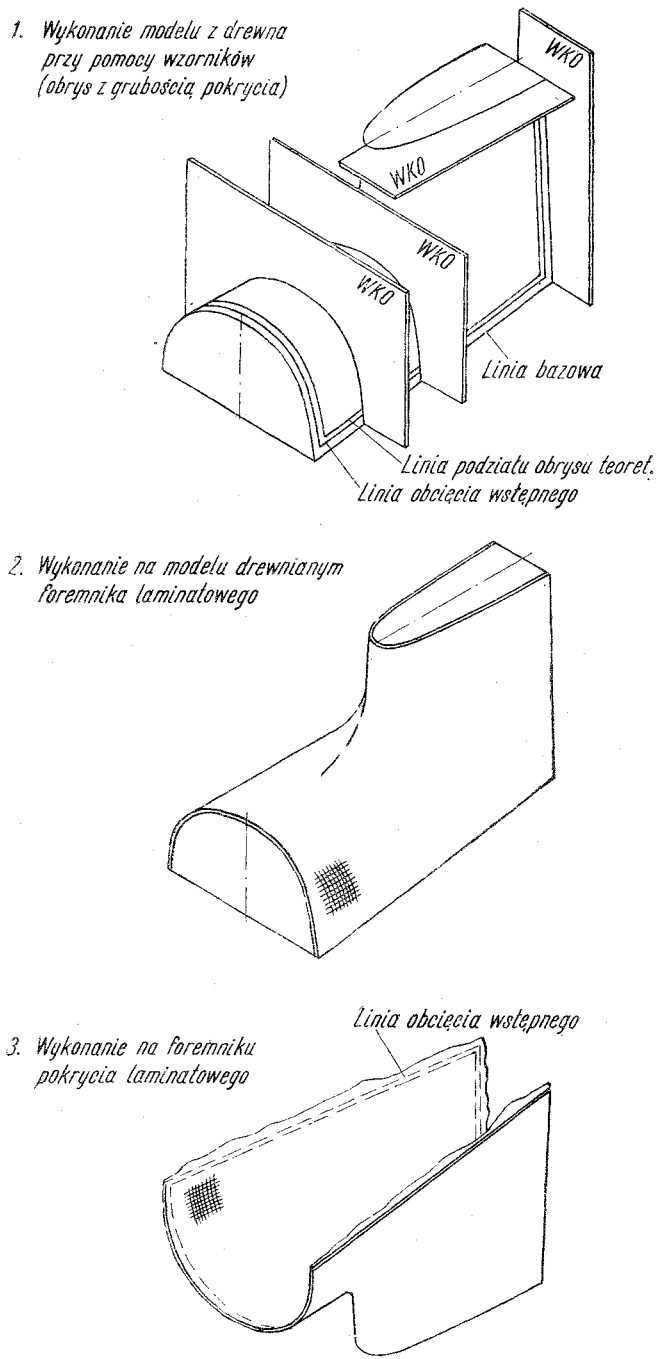
Posiadanie modelu pozwala na wykonanie foremnika. Przykład wykonania foremnika laminatowego do produkcji pokrycia laminatowego szybowca podano na rysunku 4-8.

Oprócz foremników laminatowych, tzn. skorupowych, mają również zastosowanie foremniki ze sztucznych tworzyw syntetycznych, jakimi są żywice epoksydowe, poliestrowe i fenolowe. Żywice poliestrowe i fenolowe mają stosunkowo duży skurcz przy utwardzaniu, poliestrowe małą przyczepność do utwardzonej warstwy poprzedniej, a fenolowe małą odporność na zużycie. Najlepsze są żywice epoksydowe.

Model układa się na płaskiej podstawie w przygotowanym obramowaniu, najczęściej z desek. Następnie pokrywa się warstwą rozdzielczą za pomocą pędzla. Środkiem rozdzielczym jest 30-procentowy roztwór wosku w trójchloroetylenie. Warstwa rozdzielcza ułatwia wyciągnięcie modelu po utwardzeniu się foremnika (rys. 4-9).

Ze względu na konieczność oszczędnego stosowania żywicy epoksydowej, która jest materiałem kosztownym, foremnik wykonuje się z warstwy licowej oraz rdzenia. Warstwę licową wykonuje się z żywicy epoksydowej, natomiast rdzeń może tworzyć blok metalowy lub utwardzona masa z tańszej żywicy fenolowo-formaldehydowej wypełnionej dużą ilością piasku, trocin lub złomu.

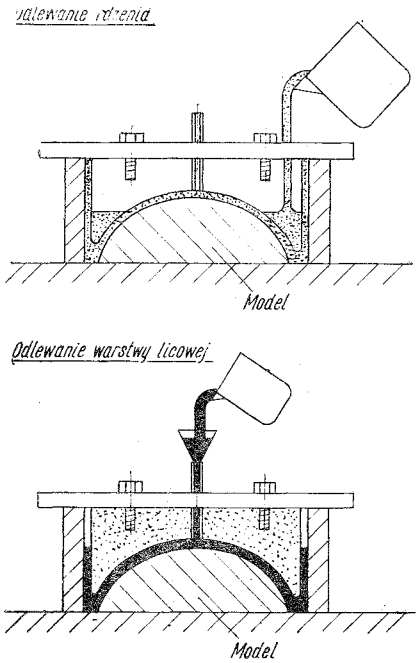
Na warstwę rozdzielczą modelu nakłada się równomiernie plastelinę o grubości późniejszej warstwy licowej. Na środku ustawia się rurkę




*Rys. 4-8. Przykład wykonania foremnika laminatowego do produkcji pokrycia laminatowego*

szklaną lub metalową lekko ją wciskając do plasteliny. Następnie wlewa się masę rdzeniową.

Po utwardzeniu się rdzenia usuwa się warstwę plasteliny i oczyszcza powierzchnię przez piaskowanie. Po ponownym ustawieniu rdzenia nad modelem wlewa się przez zatopioną rurkę w rdzeniu masę z żywicy epoksydowej wymieszanej z utwardzaczem w ilości 7÷10%. Masa utwardza się na zimno.




*Rys. 4-9. Schemat odlewania foremnika*

Do żywicy dodaje się wypełniacz, który podwyższa twardość, wytrzymałość mechaniczną i zmniejsza ciężar foremnika. Wypełniaczami są kaolin, sproszkowane szkło, pył aluminiowy oraz włókna szklane. Udział wypełniacza rzędu 200÷250% udziału żywicy pozwala jeszcze na odlewanie masy.

Po utwardzeniu foremnik oddziela się od modelu, zmywa się rozpuszczalnikiem warstwę rozdzielczą i ewentualnie wygładza papierem ściernym.

W produkcji szybowców stosuje się również duże foremniki do warstwowego klejenia pokryć sklejkowych skrzydeł i usterzeń. Ponieważ najczęściej tworzą one integralną całość z przyrządami montażowymi do sklejania tych grup wykonawczych, sposób ich wykonania zostanie omówiony w rozdziale o oprzyrządowaniu montażowym.

Rozdział 5

# WYKONYWANIE CZĘŚCI METALOWYCH

## 5.1. TOLERANCJE I PASOWANIA

W konstrukcjach szybowcowych spotyka się powierzchnie surowe i obrabiane.

Części drewniane wykonywane są z listew ciętych z desek, a więc mają powierzchnie obrabiane.

Części metalowe wykonywane są przeważnie z blach, rur i prętów. Powierzchnie blach i rur pozostają najczęściej w stanie pierwotnym, czyli mają powierzchnie surowe, natomiast z prętów wykonuje się części za pomocą toczenia, frezowania lub szlifowania, czyli mają powierzchnie obrobione.

Z punktu widzenia współpracy części można się spotkać z powierzchniami roboczymi, które są najczęściej obrobione. Inne powierzchnie nazywają się powierzchniami swobodnymi.

Pomiędzy powierzchniami roboczymi może występować luz lub wcisk (czyli luz ujemny). Zależy to od charakteru współpracy obu części.

Luzem nazywa się niewypełnioną przestrzeń pomiędzy jedną częścią a drugą, natomiast wciskiem — nadmiar materiału jednej części względem drugiej.

Rysunek techniczny części podaje wymiary teoretyczne, czyli tzw. nominalne. Ze względu na praktyczne możliwości wykonawcze przy wymiarze nominalnym podaje się dopuszczalne odchyłki. Istnieją odchyłki górne i dolne. Odchyłka może być dodatnia, ujemna albo równa zeru. Różnica pomiędzy górną i dolną odchyłką nazywa się tolerancją, a wymiar nominalny wraz z odchyłkami — wymiarem tolerowanym. Tolerancja jest zawsze dodatnia.

Dla wykonawcy najlepiej jest, jeśli wymiary są tolerowane w głąb materiału, wówczas dla wałka odchyłka górna równa jest zeru, a odchyłka dolna jest ujemna, dla otworu zaś odchyłka górna jest dodatnia, a odchyłka dolna jest równa zeru.

Terminy „wałek" i „otwór", jako umowne, odnoszą się do wszystkich brył, nawet nie mających kształtu walcowego.

Według umowy odchyłki górne podaje się u góry wymiaru nominalnego, dolne zaś u dołu, a odchyłek zerowych nie oznacza się.

Zapis tolerowania wymiarów w głąb materiału przedstawia się następująco:

otwór — $40^{+0,2}$

wałek — $40^{-0,2}$

W przypadku tolerowania w głąb materiału podczas wykonywania po przekroczeniu średnicy wałka równej 40 pozostaje jeszcze możliwość wykonania go do 39,8, a przy przekroczeniu średnicy otworu równej 40 można jeszcze otwór wykonać do średnicy 40,2.

Pasowaniem nazywa się charakter współpracy wałka i otworu zależny od ich wymiarów przed połączeniem. Tolerancja pasowania jest to różnica pomiędzy luzem największym i najmniejszym.

Pasowania zostały znormalizowane normą PN-60/M-02104 na podstawie materiałów ISO — Międzynarodowego Komitetu Normalizacyjnego.

Rozróżnia się pasowania:

— ruchowe, w których uzyskuje się zawsze luz dodatni lub co najmniej równy zeru,
— mieszane, w których uzyskuje się albo luz dodatni, albo ujemny,
— wtłaczane, w których uzyskuje się zawsze luz ujemny lub równy zeru.

Wspomniana norma ustala najpierw normalne wałki i otwory. Norma dotyczy wymiarów do 500 mm. Cały zakres średnic został podzielony na 13 przedziałów wymiarów normalnych:

| | | |
|---|---|---|
| 0÷ 3 mm | 30÷ 50 mm | 180÷250 mm |
| 3÷ 6 mm | 50÷ 80 mm | 250÷315 mm |
| 6÷10 mm | 80÷120 mm | 315÷400 mm |
| 10÷18 mm | 120÷180 mm | 400÷500 mm |
| 18÷30 mm | | |

Dla każdego przedziału średnic obowiązuje jedna tolerancja, zależna od dokładności wykonywanych przedmiotów. Sposób określenia tolerancji podstawowych wałków i otworów ustala norma PN-60/M-02102. Ustalono 18 klas dokładności. Oznacza się je numerami 01 0 i od 1 do 16, przy czym liczba 01 oznacza klasę najdokładniejszą. Narzędzia miernicze są wykonywane w klasie 01, 0 i od 1 do 7, pasowane części maszyn w klasie 5 do 12, zaś klasy od 12 do 16 stosuje się w przypadkach wielkich luzów i powierzchni swobodnych. Tolerancje klas dokładności objętych układem oznacza się IT01, IT0 i od IT1 do IT16.

Tolerancja zależy od klasy dokładności oraz od średnicy. Dla klas od 5 do 16 stosuje się wzór:

$$IT = a \cdot i \tag{5-1}$$

gdzie:

$IT$ — tolerancja,
$a$ — współczynnik zależny od klasy dokładności,
$i$ — jednostka tolerancji.

Jednostka tolerancji w mikronach wyraża się wzorem:

$$i = 0{,}45 \sqrt[3]{D_s} + 0{,}001 D_s \tag{5-2}$$

gdzie:

$D_s$ — wielkość średnicy w mm.

Dla poszczególnych przedziałów wielkość $D_s$ oblicza się jako średnią geometryczną krańcowych wartości $D_{min}$ i $D_{max}$ przedziału według wzoru $D_s = \sqrt{D_{min} \cdot D_{max}}$.

Współczynniki $a$ klas od 6 do 16 tworzą w przybliżeniu postęp geometryczny o ilorazie $\sqrt[5]{10} \approx 1{,}6$. Pierwszym wyrazem tego postępu jest $a = 10$ dla klasy 6. Następne wyrazy są w przybliżeniu liczbami normalnymi ciągu R5 według PN-60/N-02100. Współczynniki $a$ równe są: 10, 16,

25, 40, 64, 100, 160, 250, 400, 640 i 1000. Współczynnik $a$ dla klasy 5 równa się w przybliżeniu 7.

Wartości tolerancji podstawowych wałków i otworów dla klasy 5 do 12 podano w tablicy 5-1.

Tablica 5-1

**Tolerancje podstawowe wałków i otworów**

| $D$ [mm] | | Klasy dokładności | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | | IT 5 | IT 6 | IT 7 | IT 8 | IT 9 | IT 10 | IT 11 | IT 12 |
| ponad | do | Wartości w mikronach | | | | | | | |
| 0 | 3 | 4 | 6 | 10 | 14 | 25 | 40 | 60 | 100 |
| 3 | 6 | 5 | 8 | 12 | 18 | 30 | 48 | 75 | 120 |
| 6 | 10 | 6 | 9 | 15 | 22 | 36 | 58 | 90 | 150 |
| 10 | 18 | 8 | 11 | 18 | 27 | 43 | 70 | 110 | 180 |
| 18 | 30 | 9 | 13 | 21 | 33 | 52 | 84 | 130 | 210 |
| 30 | 50 | 11 | 16 | 25 | 39 | 62 | 100 | 160 | 250 |
| 50 | 80 | 13 | 19 | 30 | 46 | 74 | 120 | 190 | 300 |
| 80 | 120 | 15 | 22 | 35 | 54 | 87 | 140 | 220 | 350 |
| 120 | 180 | 18 | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 | 400 |
| 180 | 250 | 20 | 29 | 46 | 72 | 115 | 185 | 290 | 460 |
| 250 | 315 | 23 | 32 | 52 | 81 | 130 | 210 | 320 | 520 |
| 315 | 400 | 25 | 36 | 57 | 89 | 140 | 230 | 360 | 570 |
| 400 | 500 | 27 | 40 | 63 | 97 | 155 | 250 | 400 | 630 |

Oprócz określenia tolerancji wałków i otworów norma PN-60/M-02102 ustala również sposób obliczania podstawowych odchyłek wałków i otworów oraz ich nazwy i oznaczenia. Wałki i otwory kwalifikuje się przyjmując za podstawę położenie ich pól tolerancji względem linii zerowej odpowiadającej wymiarowi nominalnemu.

Wałki i otwory ruchowe, mieszane i wtłaczane zostały podzielone na kilka rodzai. Są one oznaczane literami alfabetu łacińskiego, przy czym wałki oznacza się małymi, a otwory dużymi literami (np. wałek obrotowy ciasny, o średnicy nominalnej 80 mm oznacza się 80 g, a otwór suwliwy o średnicy nominalnej 60 mm oznacza się 60H).

Norma ustala:
— górne odchyłki (Gw) wałków ruchowych,
— dolne odchyłki (Fw) wałków mieszanych i wtłaczanych,
— dolne odchyłki (Fo) otworów ruchowych,
— górne odchyłki (Go) otworów mieszanych i wtłaczanych w zależności od średnicy.

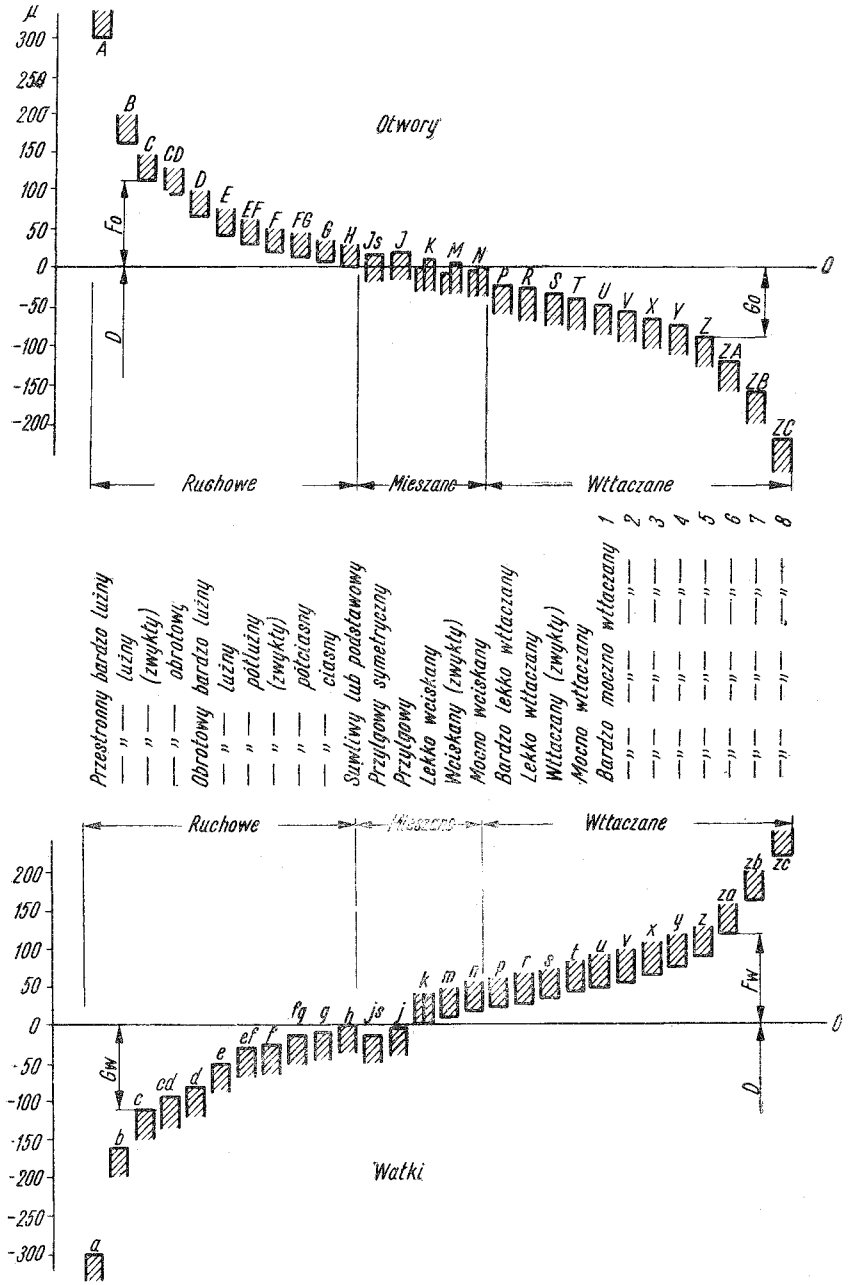
Dla każdego przedziału średnic obowiązuje jedna odchyłka. Dla poszczególnych przedziałów przyjmuje się średnicę $D_s$ obliczoną jako średnia geometryczna krańcowych wartości $D_{min}$ i $D_{max}$ przedziału według wzoru $D_s = \sqrt{D_{min} \cdot D_{max}}$.

Dla przykładu odchyłki podstawowe wałków i otworów dla przedziału średnic ponad 6 do 10 mm przedstawione są graficznie na rysunku 5-1.

Otwór, którego odchyłka dolna ($Fo$) jest równa zeru, nazywa się otworem podstawowym i oznacza się go literą „H". Wałek, którego odchyłka

górna ($Gw$) jest równa zeru, nazywa się wałkiem podstawowym i oznacza się go literą „h".

Norma PN-60/M-02104 ustala normalne wałki i otwory przez wybranie ich z całego zakresu klas dokładności. Ustalono 45 wałków normalnych i 37 otworów normalnych. Wśród wałków i otworów normalnych




*Rys. 5-1. Odchyłki podstawowe wałków i otworów dla przedziału średnic ponad 6 do 10 mm*

wyróżnia się 19 wałków uprzywilejowanych i 13 otworów uprzywilejowanych.

Wśród wałków normalnych są:

— z 5 klasy dokładności wałki: g5, |h5x|, j5, k5, m5, n5, r5, s5

— z 6 klasy dokładności wałki: f6, |g6|, |h6|, |j6x|, |k6|, m6, |n6|, p6, |r6|, s6

— z 7 klasy dokładności wałki: |f7|, |h7|, j7, k7, m7, |n7|, s7, u7

— z 8 klasy dokładności wałki: c8, d8, |e8|, f8, |h8|, |n8|

— z 9 klasy dokładności wałki: |d9|, e9, |f9|, h9

— z 10 klasy dokładności wałki: d10, h10

— z 11 klasy dokładności wałki: a11, b11, c11, |d11|, |h11|

— z 12 klasy dokładności wałki: |b12|, |h12|

Wśród otworów normalnych są:

— z 6 klasy dokładności otwory: G6, H6, |J6x|, |K6x|, M6, N6

— z 7 klasy dokładności otwory: F7, G7, |H7|, |J7x|, |K7|, M7, |N7|, P7, R7, S7

— z 8 klasy dokładności otwory: D8, E8, |F8|, |H8|, J8, K8, M8, N8, U8

— z 9 klasy dokładności otwory: D9, |F9|, H9

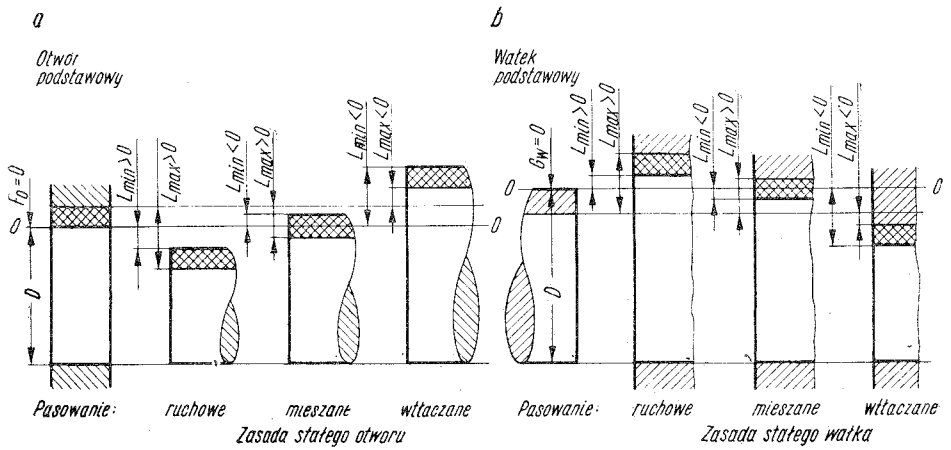
— z 10 klasy dokładności otwory: D10, |H10|

— z 11 klasy dokładności otwory: A11, B11, C11, |D11|, |H11|

— z 12 klasy dokładności otwory: B12, |H12|

Znak |  | oznacza wałki i otwory uprzywilejowane. Znak „x" oznacza wałki i otwory uprzywilejowane dla łożysk tocznych. Znak „—" oznacza wałki i otwory nie zalecane.

Po wyjaśnieniu zasad ustalania normalnych wałków i otworów należy omówić zakres pasowań normalnych, ustalonych normą PN-60/M-02104.




*Rys. 5-2. Zasada stałego otworu i stałego wałka*

Pasowania mogą być tworzone na zasadzie stałego wałka lub na zasadzie stałego otworu (rys. 5-2).

Zasada stałego wałka polega na tworzeniu pasowań z wałkiem podstawowym „h".

Zasada stałego otworu polega na tworzeniu pasowań z otworem podstawowym „H".

Zasady te są stosowane w przemyśle. Zasada stałego otworu jest bardziej ekonomiczna, gdyż wymaga stosowania znacznie mniejszej liczby rozwiertaków i sprawdzianów. Niekiedy jednak zasada stałego wałka jest korzystniejsza, gdyż otrzymuje się prostszą konstrukcję, która pozwala na stosowanie wałka o jednakowej średnicy na całej długości.

*Pasowania normalne* są to pasowania utworzone z wałków i otworów normalnych odpowiednich dla klas dokładności na zasadzie stałego otworu lub na zasadzie stałego wałka.

Układ pasowań normalnych składa się z 52 pasowań normalnych na zasadzie stałego otworu i 47 pasowań normalnych na zasadzie stałego wałka. Wśród pasowań normalnych wyróżnia się 17 pasowań uprzywilejowanych na zasadzie stałego otworu i 10 pasowań uprzywilejowanych na zasadzie stałego wałka.

Wśród pasowań normalnych na zasadzie stałego otworu są:

— otwór H6 z wałkami: f6, g5, h5, j5, k5, m5, n5, r5, s5
— otwór H7 z wałkami: c8, d8, |e8|, |f7|, |g6|, |h6|, j6, |k6|, m6, |n6|, p6, |r6|, s6, |s7|, u7
— otwór H8 z wałkami: |d9|, d10, e8, e9, f7, f8, |f9|, |h7|, |h8|, h9, j7, k7, m7, n7, s7, |u8|
— otwór H9 z wałkami: h8, h9
— otwór H10 z wałkami: h9, h10
— otwór H11 z wałkami a11, b11, c11, d9, |d11|, |h11|
— otwór H12 z wałkami: |b12|, |h12|

Wśród pasowań normalnych na zasadzie stałego wałka są:

— wałek h5 z otworami: F7, G6, H6, J6, K6, M6, N6
— wałek h6 z otworami: D8, E8, |F8|, G7, |H7|, J7, |K7|, M7, |N7| P7, R7, S7
— wałek h7 z otworami: |H8|, J8, K8, M8, N8, U8
— wałek h8 z otworami: D9, E8, F8, |F9|, |H8|, H9
— wałek h9 z otworami: D9, D10, E8, F8, F9, H8, H9, H10
— wałek h10 z otworami: H10
— wałek h11 z otworami: A11, B11, C11, |D11|, |H11|
— wałek h12 z otworami: B12, |H12|

Znak „|  |" oznacza pasowanie uprzywilejowane. Znak „—" oznacza pasowanie nie zalecane.

Ze względu na dokładność, pasowania normalne można podzielić na 3 grupy, zawierające klasy podstawowe i pomocnicze:

— pasowania dokładne o klasie podstawowej 7/6 i klasie pomocniczej 6/5,
— pasowania średnio dokładne o klasie podstawowej 9/8 i klasie pomocniczej 8/7,
— pasowania zgrubne o klasie podstawowej 11 i klasie pomocniczej 10.

Pasowania dokładne 7/6 stosowane są w budowie dokładnych obrabiarek, silników itp., pasowania dokładne 6/5 stosowane są w budowie bardzo dokładnych części maszyn i narzędzi.

Pasowania średnio dokładne 9/8 stosowane są w budowie dźwignic i maszyn rolniczych, obrabiarek do drewna itd., pasowania średnio dokładne 8/7 stosowane są w budowie silników spalinowych i wodnych, sprężarek, obrabiarek do drewna itd.

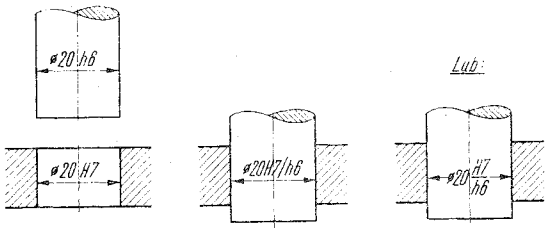
Pasowania zgrubne 11 i 10 stosowane są w budowie mniej dokładnych dźwignic, maszyn rolniczych itd.

Z przytoczonych zestawień pasowań normalnych widać, że w normalnych pasowaniach niższych klas otwór kojarzony jest z wałkiem o jedną klasę dokładniejszym. Wynika to z tego, że dokładny otwór trudniej jest wykonać niż dokładny wałek. W pasowaniach wyższych klas, gdzie konieczne jest zachowanie tak dużych dokładności, zasada ta jest pominięta.

W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się stosowanie pasowań innych niż utworzonych z wałków i otworów normalnych.

Na rysunkach konstrukcyjnych zestawieniowych pasowanie wałka z otworem oznacza się podając obok wartości wymiaru nominalnego oznaczenie literowe i numer klasy dokładności otworu oraz oddzielone pochyłą linią oznaczenie literowe i numer klasy dokładności wałka.

Zapis 20 H7/h6 oznacza pasowanie suwliwe (lub podstawowe) o średnicy nominalnej 20 mm, utworzone na zasadzie stałego otworu przez skojarzenie podstawowego otworu *H* klasy 7 i suwliwego wałka *h* klasy 6 (rys. 5-3).




*Rys. 5-3. Oznaczenie pasowania wałka z otworem*

Dla wymiarów ponad 500 do 3150 mm opracowany został układ tolerancji i pasowań w normie PN/M-02103 (projekt).

Pozostaje jeszcze do omówienia sprawa tolerancji kształtu. Określa ona dopuszczalne odchylenia kształtu przedmiotu od kształtu teoretycznego. Jeżeli na rysunku wałka podana jest tolerancja średnicy bez podania tolerancji kształtu, należy przyjąć, że przekrój poprzeczny wałka może być wykonany jako elipsa o osiach równych dopuszczalnym odchyłkom albo przekrój podłużny wałka może mieć boki równe dopuszczalnym odchyłkom. Jest to równoznaczne z dopuszczeniem wykonania wałka stożkowego o średnicach podstaw równych dopuszczalnym odchyłkom.

W przypadku podania na rysunku dodatkowo tolerancji kształtu obowiązują odchyłki z niej wynikające.

Nie wszystkie wymiary w dokumentacji mają podaną tolerancję. Dla wymiarów bez tolerancji obowiązuje tolerancja warsztatowa podana w tablicy 5-2.

Tablica 5-2

**Tolerancje warsztatowe**

| Wymiar nominalny | | Tolerancja w mikronach | | |
|---|---|---|---|---|
| | | średnice i długości | | dla odległości osi symetrii |
| ponad | do | przy obróbce maszynowej | przy obróbce ręcznej (IT 14) | |
| 0 | 3 | 100 | 250 | ±100 |
| 3 | 6 | 150 | 300 | ±150 |
| 6 | 10 | 150 | 360 | ±150 |
| 10 | 18 | 200 | 430 | ±200 |
| 18 | 30 | 250 | 520 | ±250 |
| 30 | 50 | 300 | 620 | ±300 |
| 50 | 80 | 400 | 740 | ±300 |
| 80 | 120 | 500 | 870 | ±400 |
| 120 | 180 | 600 | 1000 | ±500 |
| 180 | 250 | 600 | 1150 | ±600 |
| 250 | 315 | 800 | 1300 | ±800 |
| 315 | 400 | 800 | 1400 | ±800 |
| 400 | 500 | 800 | 1550 | ±800 |
| 500 | 630 | 1000 | 1750 | ±1000 |
| 630 | 800 | 1000 | 2000 | ±1000 |
| 800 | 1000 | 1300 | 2300 | ±1200 |
| 1000 | 1250 | 1300 | 2600 | ±1200 |
| 1250 | 1600 | 1700 | 3100 | ±1500 |
| 1600 | 2000 | 1700 | 3700 | ±1500 |
| 2000 | 2500 | 2400 | 4400 | ±1500 |
| 2500 | 3150 | 2400 | 5400 | ±1500 |
| 3150 | 4000 | 2400 | 6500 | ±1500 |
| 4000 | 5000 | 2400 | 8000 | ±1500 |
| 5000 | 6300 | — | 9800 | — |
| 6300 | 8000 | — | — | — |
| 8000 | 10000 | — | 15000 | — |

Odchyłki obowiązują w głąb materiału od wymiaru nominalnego

## 5.2. CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI

Obok znaków dotyczących pasowań podaje się na rysunkach konstrukcyjnych oznaczenia chropowatości, kierunkowości struktury i sposobu obróbki powierzchni. Stwierdzono, że rodzaj struktury powierzchni pracujących części ma duże znaczenie w pracy tej części.

Istnieje zależność pomiędzy chropowatością powierzchni a odpornością jej na zużycie; otrzymuje się tym wyższe wytrzymałości zmęczeniowe, im mniejsza jest chropowatość powierzchni przedmiotu oraz trwalsze połączenia wciskane.

Sposób obróbki powierzchniowej wpływa na strukturę materiału w warstwie podpowierzchniowej ze względu na towarzyszące obróbce zja-

wiska tarcia i wytwarzania się ciepła. Powierzchnia staje się twardsza i mniej rozciągliwa.

Zagadnienia chropowatości powierzchni zostały ujęte polskimi normami PN-58/M-04250, PN-58/M-04251 oraz PN-58/M-04252.

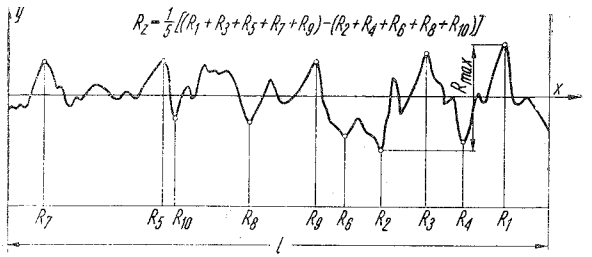
Chropowatość powierzchni jest to zbiór nierówności o stosunkowo małych odstępach wierzchołków. Nierówności mierzy się w granicach odcinka mierniczego jako odchyłki profilu powierzchni od linii odniesienia.

Ustalono 14 klas chropowatości powierzchni. Oznacza się je numerami od 1 do 14, przy czym liczba 1 oznacza powierzchnię najbardziej chropowatą. Z klasami chropowatości związane są następujące parametry:

— wysokość nierówności $R_z$,

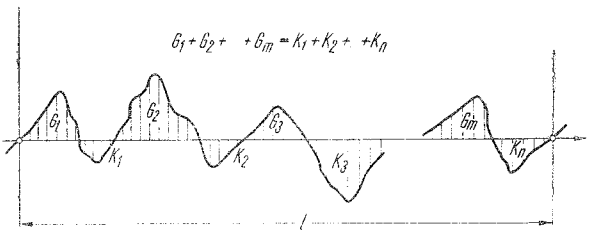
— średnie arytmetyczne odchylenie od linii średniej profilu $R_a$.

Wysokość nierówności $R_z$ jest średnią odległością pięciu najwyżej położonych wierzchołków od pięciu najniżej położonych wgłębień na długości znormalizowanego odcinka pomiarowego, mierzonych od linii równoległej do linii średniej profilu (rys. 5-4). Parametr $R_z$ jest równy lub nieco mniejszy od $R_{max}$.




*Rys. 5-4. Sposób wyznaczenia parametru $R_z$*

Linia średnia dzieli profil powierzchni w taki sposób, że w granicach znormalizowanego odcinka pomiarowego suma kwadratów odchyłek profilu od tej linii jest najmniejsza. Linia średnia jest prostą dla płaszczyzny, natomiast np. dla przekroju poprzecznego koła jest odcinkiem koła, gdyż powinna ona mieć kształt profilu badanego w granicach znormalizowanego odcinka pomiarowego.




*Rys. 5-5. Sposób wyznaczenia linii średniej*

Sposób wyznaczenia linii średniej podano na rysunku 5-5. Sumy pól $G$ i $K$ leżących po obu stronach linii średniej powinny być sobie równe na długości odcinka pomiarowego $l$.

Średnie arytmetyczne odchylenie od linii średniej profilu $R_a$ jest to średnia wartość odległości punktów profilu od linii średniej na długości odcinka mierniczego stanowiącego wielokrotność znormalizowanego odcinka pomiarowego.

Odchylenia od linii średniej sumują się bez względu na ich znak algebraiczny, w przybliżeniu:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} |y_i| \qquad (5\text{-}3)$$

Wielkość $R_a$ przedstawia geometrycznie sumę wysokości dwóch prostokątów o podstawach równych odcinkowi mierniczemu. Górny prostokąt ma pole równe sumie pól ponad linią średnią, a dolny — sumie pól poniżej tej linii.

Norma PN-58/M-04251 ustala stopniowanie chropowatości według wysokości $R_z$ nierówności. Wartości liczbowe parametru $R_z$ i $R_a$ są uprzywilejowanymi liczbami z ciągu zaokrąglonych liczb normalnych o współczynniku postępu 1,25 według szeregu Renarda R10. Górne wartości $R_z$ i $R_a$ podano w tablicy 5-3.

Tablica 5-3

**Górne wartości $R_z$ i $R_a$**

| Klasa chropowatości | Wysokość nierówności $R_z$ | Średnie arytmetyczne odchylenie profilu $R_a$ | Klasa chropowatości | Wysokość nierówności $R_z$ | Średnie arytmetyczne odchylenie profilu $R_a$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | maksimum mikronów | | | maksimum mikronów | |
| 1 | 320 | 80 | 8 | 3,2 | 0,63 |
| 2 | 160 | 40 | 9 | 1,6 | 0,32 |
| 3 | 80 | 20 | 10 | 0,8 | 0,16 |
| 4 | 40 | 10 | 11 | 0,4 | 0,08 |
| 5 | 20 | 5 | 12 | 0,2 | 0,04 |
| 6 | 10 | 2,5 | 13 | 0,1 | 0,02 |
| 7 | 6,3 | 1,25 | 14 | 0,05 | 0,01 |

Norma ustala również długości znormalizowanego odcinka pomiarowego. Zależy on od klasy chropowatości i sposobu obróbki (struganie, frezowanie itp.). Sposób oznaczania chropowatości na rysunkach podaje norma PN-58/M-04252.

Klasę chropowatości oznacza się jednym trójkątem równobocznym o wysokości co najmniej 2,5 mm. Trójkąt styka się wierzchołkiem z linią ograniczającą powierzchnię.

Po prawej stronie znaku trójkąta umieszcza się numer klasy, dla której górne wartości parametrów $R_z$ i $R_a$ nie mogą być przekroczone (np. $\nabla$ 8). Jest to oznaczenie jednograniczne.

Można również spotkać oznaczenie dwugraniczne określające górną i dolną granicę chropowatości, tj. największą i najmniejszą dopuszczalną chropowatość (np. $\nabla$ 4-7).

Dopuszcza się również oznaczenie chropowatości bezpośrednio jedno- lub dwugraniczne za pomocą parametrów $R_z$ i $R_a$ o uprzywilejowanych wartościach liczbowych według szeregu Renarda R10.

Jeżeli nie stawia się żadnych wymagań chropowatości, to nie stosuje się żadnego znaku lub znak ∾, również o wysokości co najmniej 2,5 mm, stykający się z linią ograniczającą powierzchnię.

Jeżeli cały przedmiot ma być wykonany w jednej klasie chropowatości, znak chropowatości o wysokości co najmniej 5 mm jest umieszczony nad tabliczką rysunkową. Jeśli większość powierzchni ma być wykonana w jednej klasie chropowatości, znak chropowatości jest umieszczony nad tabliczką rysunkową i ujęty w kółko, a na rysunku są podane jedynie pozostałe znaki chropowatości.

Stwierdzono na licznych przykładach, że pomiędzy chropowatością powierzchni a dokładnością wymiarową części istnieje pewna zależność. Inaczej — odpowiedniej klasie dokładności odpowiada właściwa klasa chropowatości zależnie od wymiaru nominalnego i tolerancji. Zależność tę ustalają warunki technologiczne, takie jak parametry skrawania, zastosowane narzędzia i obrabiarki.

Przyjmując na podstawie badań zależność odchyłek na chropowatość $\Delta M$ od pola tolerancji $T$ jako:

$$\Delta M = 0{,}3T \tag{5-4}$$

otrzymuje się z przeprowadzonego rachunku równanie na wysokość nierówności $R_z$:

$$R_z = 0{,}075T \tag{5-5}$$

Na podstawie tych równań dochodzi się do zależności klas chropowatości od klas dokładności (tabl. 5-4).

Należy zaznaczyć, że nie zawsze konstruktor ustala klasy chropowatości wynikające z warunków technologicznych, gdyż przeważnie decydują o niej wymagania eksploatacyjne.

Bardzo istotny przy obróbce powierzchni przedmiotów jest dobór właściwych parametrów skrawania w celu uzyskania żądanych chropowatości powierzchni. Warunki te podano w tablicy 5-5, z której widać również, jakie klasy chropowatości można uzyskiwać z poszczególnych rodzajów obróbki skrawaniem.

Konstruktor może umieścić na rysunku jeszcze dodatkowe wymagania dotyczące struktury geometrycznej, a mianowicie:

— znak kierunkowości

oraz

— sposób obróbki.

Kierunkowość struktury jest to właściwość wynikająca z przeważającego kierunku nierówności powierzchni. Normy PN-58/M-04251 i PN-58/M-04252 ustalają rodzaj i odmiany kierunkowości struktury oraz znaki rysunkowe. Zestawienie klasyfikacji kierunkowości struktury podano na rysunku 5-6.

Wysokość znaku kierunkowości odpowiada wielkości znaku chropowatości. Znak kierunkowości umieszczony jest po lewej stronie znaku chropowatości, np.= ▽ 8. Sposób obróbki powierzchni podany jest na rysunku pełną nazwą umieszczoną nad znakiem chropowatości, np. docierać, piaskować itp. Oznaczenie klasy chropowatości odnosi się do powierzchni po wykonanej obróbce.

Tablica 5-4

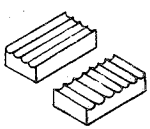
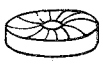
**Zależność klas chropowatości od klas dokładności**

| Klasy dokładności wałków i otworów wg PN-60/M-02104 | | | | | | | | Klasa chropowatości wg PN-58/M-04251 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | powierzchnie obejmowane | | powierzchnie obejmujące | |
| Wymiar nominalny [mm] | | | | | | | | walcowe (wałki) | pryzmatyczne | cylindryczne (otwory) | pryzmatyczne |
| 1÷10 | | | | | | | | 11 | 10 | 10 | 9 |
| 10÷18 | 1÷10 | | | | | | | 10 | 9 | 10 | 9 |
| 18÷30 | 10÷18 | 1÷3 | | | | | | 10 | 9 | 9 | 8 |
| 30÷120 | 18÷30 | 3÷10 | 1÷3 | | | | | 9 | 8 | 9 | 8 |
| 120÷250 | 30÷80 | 10÷30 | 3÷10 | | | | | 9 | 8 | 8 | 8 |
| 250÷500 | 80÷250 | 30÷80 | 10÷30 | 1÷3 | | | | 8 | 7 | 8 | 7 |
| | 250÷500 | 80÷180 | 30÷80 | 3÷10 | 1÷3 | | | 8 | 7 | 7 | 7 |
| | | 180÷500 | 80÷315 | 10÷30 | 3÷10 | 1÷3 | | 7 | 6 | 7 | 6 |
| | | | | 30÷80 | 10÷30 | 3÷10 | | 7 | 6 | 6 | 6 |
| | | | 315÷500 | 80÷250 | 30÷80 | 10÷30 | 1÷6 | 6 | 5 | 6 | 5 |
| | | | | 250÷500 | 80÷250 | 30÷80 | 6÷30 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | | | | | 250÷500 | 80÷180 | 30÷50 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| | | | | | | 180÷500 | 50÷80 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | | | | | | | 180÷315 | 4 | 4 | 3 | 4 |
| | | | | | | | 315÷400 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | | | | | | | 400÷500 | 3 | 3 | 2 | 3 |

Tablica 5-5

**Parametry obróbki powierzchni dla różnych klas chropowatości**

| Klasa chropowatości | Toczenie i wytaczanie | | Struganie | | Frezowanie frezem walcowym | | Frezowanie frezem czołowym | | Szlifowanie wałków | | Szlifowanie płaszczyzn | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | posuw [mm/obrót] | promień ostrza [mm] | posuw [mm/skok] | promień ostrza [mm] | posuw [mm/min] | narzędzie | posuw [mm/min] | narzędzie | ziarnistość ściernicy | twardość ściernicy | ziarnistość ściernicy | twardość ściernicy |
| 5 | 0,35÷0,45 | 0,9÷1,1 | 0,35÷0,45 | 0,9÷1,1 | 110÷180 | | 18÷22 | | | | | |
| 6 | 0,20÷0,30 | 0,6÷0,8 | 0,20÷0,30 | 0,6÷0,8 | 100÷120 | | 13÷16 | | 24 | M | 24 | M |
| 7 | 0,10÷0,15 | 0,4÷0,5 | 0,10÷0,15 | 0,4÷0,5 | 70÷90 | NFCa ∅ 80 | 8÷12 | NFWa ∅ 100 | 36 | M | 36 | M |
| 8 | poniżej 0,1 | 0,2÷0,3 | — | — | 30÷50 | | — | | 46 | K | 46 | K |
| 9 | | | | | | | | | 60 | K | 60 | K |

| Rodzaj kierunkowości | Odmiana kierunkowości | | Znak kierunkowości | Przykłady sposobu obróbki | Wzory |
|---|---|---|---|---|---|
| Jednokierunkowa | równoległa prostoliniowa | równoległa do krawędzi powierzchni pokazanej na rys. | = | toczenie wzdłużne, struganie |  |
| | | prostopadła do krawędzi powierzchni pokazanej na rys. | ‖ | dłutowanie przeciąganie | |
| | współśrodkowa | | ◎ | toczenie czołowe | |
| | krzywoliniowa równoległa | | ( | frezowanie czołowe lub szlifowanie czołowe | |
| Wielokierunkowa | uporządkowanie | promieniowa | ⊙ | szlifowanie czołowe |  |
| | | skrzyżowana | × | frezowanie czołowe dogładzanie (honing) | |
| Bezkierunkowa | nieuporządkowana | | ⊗ | skrobanie | |
| | punktowa | | ◎ | niektóre odlewy, obróbka elektroiskrowa | |

*Rys. 5-6 Zestawienie klasyfikacji kierunkowości struktury*

Chropowatość powierzchni można oceniać:
— za pomocą specjalnych wzorców,
— metodami pomiarowymi.

Wzorce dostarczane są przez wyspecjalizowane zakłady produkcyjne. Muszą one odpowiadać ustalonym wymaganiom technicznym. Wymagania takie podaje norma PN-59/M-04254. Wzorce powinny mieć powierzchnie miernicze płaskie, wklęsłe lub wypukłe, o wymiarach nie mniejszych niż 15×15 mm, powinny być wykonane z materiału odpornego na uszkodzenia mechaniczne i korozję oraz mieć własności jak najbardziej zbliżone do odpowiednich własności powierzchni badanej.

Ze względu na ograniczoną możliwość posługiwania się wzorcami przy porównawczej ocenie chropowatości, produkuje się wzorce do 9 klasy. Wyższych klas nie da się już ocenić metodą dotykową lub wzrokową. Zrozumiałe jest, że wzorce należy odpowiednio konserwować i przechowywać.

Stosuje się dwa rodzaje oceny chropowatości powierzchni za pomocą wzorców: dotykową i wzrokową. Nie należy jednocześnie stosować obu metod, gdyż osłabia się wówczas ocenę.

Przy ocenie dotykowej przesuwa się kilkakrotnie paznokieć po powierzchni wzorca i powierzchni badanej przy określonej szybkości przesuwu. Badanie chropowatości za pomocą całej powierzchni palca zniekształca ocenę.

Przy ocenie wzrokowej należy zwrócić uwagę na prawidłowe oświetlenie. Stosuje się żarówki mleczne i oświetlenie boczne rozproszone, przez co wyraźniej uwidaczniają się nierówności. Polerowanie powierzchni również polepsza warunki oceny wzrokowej. Ocenę wzrokową przeprowadza się zwykle okiem nieuzbrojonym.

Można również użyć wzorce do porównania pod mikroskopem ich powierzchni z powierzchnią badanego przedmiotu. Używa się wówczas specjalnych mikroskopów o rozdwojonej osi optycznej. Widziany obraz przez okular mikroskopu przedstawia po połowie obie powierzchnie.

Ocenę chropowatości powierzchni można również przeprowadzić za pomocą różnych przyrządów. Istnieje kilka metod pomiarowych. Są to metody nieniszczące, gdyż nie bierze się pod uwagę wykonywania przekroju badanego przedmiotu w celu poddania go obserwacji pod mikroskopem.

Do przyrządów pozwalających ocenić chropowatość powierzchni zalicza się:
— gładkościomierze optyczne,
— mikrointerferometry,
— profilografy,
— profilometry.

Gładkościomierze optyczne działają na zasadzie dokonywania nieniszczących przekrojów świetlnych powierzchni.

Mikrointerferometry wykorzystują zjawiska interferencji fal świetlnych.

Profilografy i profilometry należą do stykowych metod pomiaru chropowatości. Pomiaru dokonuje się przez przesuwanie ostrza przyrządu po badanej powierzchni.

Wszystkie przyrządy wymagają bardzo starannego przechowywania w suchych, czystych pomieszczeniach, w których utrzymywana jest temperatura pokojowa.

Oprócz badań wytrzymałościowych metali stosuje się badania, pod wpływem których nie niszczy się materiał badany. Nieniszczące badania pozwalają nie tylko wykryć wady materiałów, ale również wady w częściach po obróbce plastycznej, cieplnej i spawaniu.

Opisywane badania stosuje się w różnych fazach wykonywania części, przez co eliminuje się od razu części wadliwe i nie naraża wytwórni na dodatkowe straty.

Do nieniszczących metod badań zalicza się:
— wytrawianie i naftowanie,
— metody penetracyjne,
— metody magnetyczne,
— metody radiologiczne,
— metody ultradźwiękowe.

Wytrawianie służy do wykrywania pęknięć zewnętrznych w stalach. Powierzchnię badaną należy starannie oczyścić i wygładzić, a następnie przemyć spirytusem. Miejsce badane wytrawia się za pomocą 10-procentowego roztworu kwasu azotowego $HNO_3$ nakładanego tamponem aż do zmatowienia powierzchni (kilka minut). Materiał w miejscu uszkodzonym łatwiej ulega działaniu chemicznemu i pęknięcia stają się widoczne jako czarne kreski. Wad szuka się za pomocą szkła powiększającego lub mikroskopu powiększającego 20-krotnie. Po badaniu część zdatna jest do dalszego użytku po przemyciu powierzchni spirytusem.

Szeroko stosowaną metodą badania części na pęknięcia jest naftowanie. Miejsce odczyszcza się dokładnie sposobem mechanicznym, a następnie okłada szmatami przesączonymi naftą. Po pewnym czasie zdejmuje się szmaty i piaskuje powierzchnię. W miejscach pęknięć pojawia się nafta w postaci zacieków.

Metoda penetracyjna (inaczej uwidocznionych plam) służy również do wykrywania wad powierzchniowych części. Przedmiot zanurza się na okres 1÷2 godzin do cieczy barwnej, posiadającej cechy dobrej zwilżalności metalu (o małym napięciu powierzchniowym), następnie wyjmuje się i dokładnie wyciera lub piaskuje. Potem maluje się części tzw. wywoływaczem, który bardzo szybko paruje pozostawiając na powierzchni białą powłokę. Wady ujawniają się barwnie przez zetknięcie się cieczy penetrującej z wywoływaczem w postaci plam.

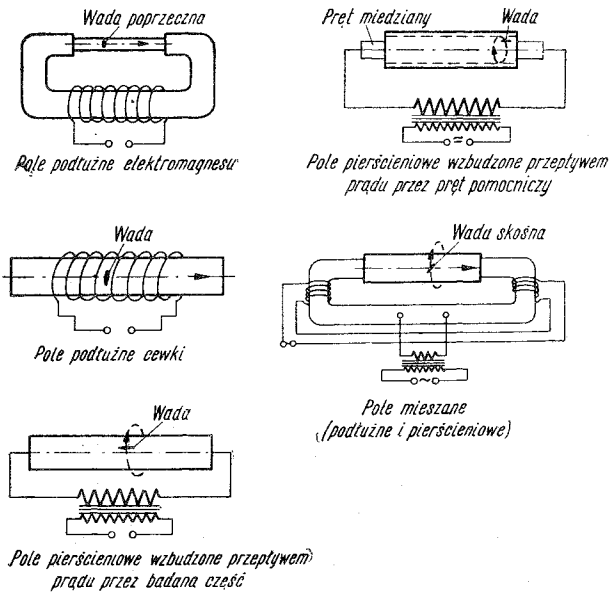
Inna metoda penetracyjna, tzw. fluorescencyjna, polega na stosowaniu wywoływacza z tlenkiem magnezu, który zwilżony cieczą penetrującą świeci pod wpływem promieni ultrafioletowych. Badaną część obserwuje się w świetle lampy rtęciowej z filtrem. Można użyć również lampy kwarcowej, ale jest to bardzo niewygodne.

Bardzo popularną metodą badania części stalowych jest metoda magnetyczna (rys. 5-7). Część badaną umieszcza się w polu magnetycznym. Jeżeli przedmiot ma wadę w postaci rysy, pęknięcia lub wtrąceń niemetalicznych, linie sił trafiając na te przeszkody zmieniają swój przebieg. W celu uwidocznienia przebiegu linii sił część badaną pokrywa się opiłkami żelaza w postaci proszku lub zawiesiny w oleju. Stosuje się również płyny barwione.

Strumieniem linii magnetycznych można wykryć jedynie wady leżące prostopadle do kierunku linii pola magnetycznego. Stąd wady poprzeczne

wykrywa się w polu magnetycznym podłużnym, wady podłużne zaś w polu pierścieniowym.

Najczęściej bada się części na oddzielnych stanowiskach roboczych, istnieją również defektoskopy magnetyczne przenośne, które pozwalają na wykrywanie wad w spawanych węzłach kratowych oraz arkuszach blach.




*Rys. 5-7. Różne zasady badań magnetycznych*

Z kilku metod radiologicznych najbardziej znane są prześwietlania promieniami X (rentgenografia) i promieniami $\gamma$ (radiografia $\gamma$). Metodami tymi można wykryć wady zewnętrzne i wewnętrzne, jak rysy i pory, jamy i pęcherze oraz wtrącenia niemetaliczne. Nadają się do badania zarówno stali, jak i stopów lekkich.

Przed badaniem część należy dobrze oczyścić, aby nie zaciemniać obrazu prześwietlenia.

Promienie X i $\gamma$, różniące się tylko sposobem powstawania, przenikają przez badaną część. W zależności od struktury materiału zmienia się intensywność przenikania promieniowania. Obraz prześwietlenia utrwala się na błonie fotograficznej. Napotkane wady zwiększają intensywność, co widoczne jest w postaci zaciemnienia na błonie.

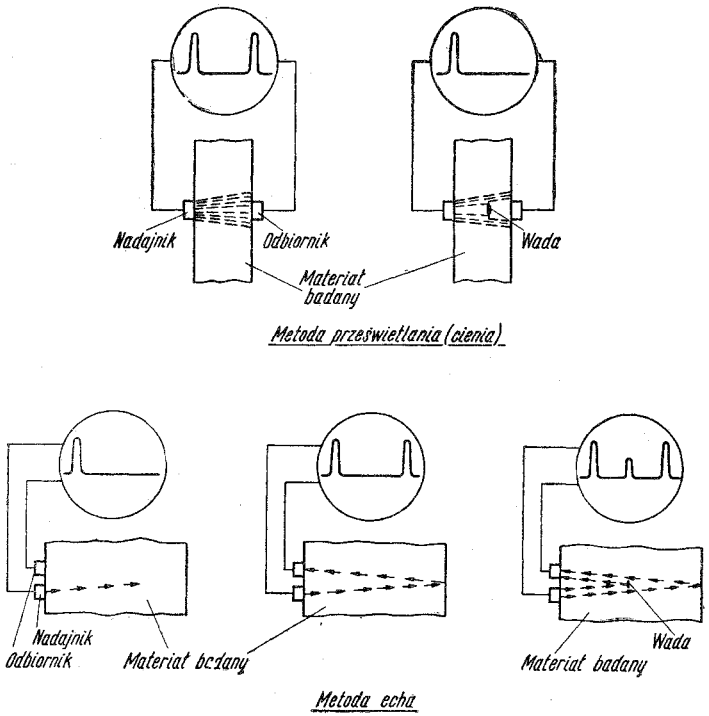
Do prześwietleń od wewnątrz lepiej nadają się promienie $\gamma$ ze względu na mały wymiar źródła promieniowania.

Promienie $\gamma$ znalazły szerokie zastosowanie dopiero po otrzymaniu sztucznych izotopów promieniotwórczych. (U w a g a: promienie $\gamma$ są bardziej niebezpieczne od promieni X, gdyż stale wysyłają promienie szkodliwe).

Badania ultradźwiękami opierają się na zjawisku zmiany oporności akustycznej wad strukturalnych materiału w postaci pęknięć, pęcherzy i wtrąceń niemetalicznych w stosunku do oporności materiału badanego.

Wady strukturalne powodują odbijanie i pochłanianie pewnej części drgań dźwiękowych przepuszczanych przez badany przedmiot.

Zależnie od grubości badanego materiału stosuje się różne metody badań ultradźwiękami. Schematy dwóch najczęstszych metod podano na rysunku 5-8.



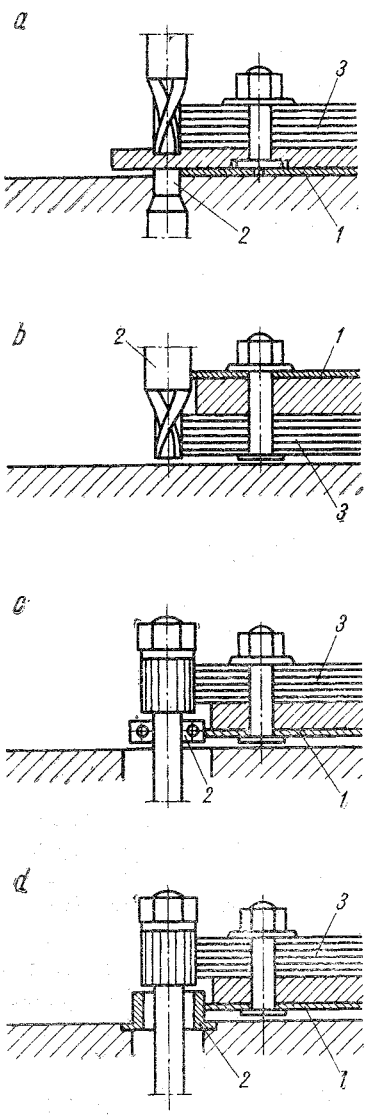

*Rys. 5-8. Metody badania ultradźwiękami*

W przypadku przedmiotów cienkich możliwa jest jedynie metoda prześwietlenia, inaczej zwana metodą cienia. Z nadajnika wysyła się stałą wiązkę impulsów drgań. Przy materiale bez wady ultradźwięk po przejściu całej grubości zostaje odebrany i zarejestrowany na ekranie lampy oscyloskopowej lub urządzeniu głośnikowym. W przypadku wady w materiale fale ultradźwiękowe odbijają się od niej — wada tworzy cień — i fale nie docierają do odbiornika. Warto zaznaczyć, że opisana metoda wymaga obejmowania z dwóch stron równoległych płaszczyzn przedmiotu.

Części grubsze bada się metodą echa. Z nadajnika wysyła się bardzo krótki impuls fal ultrakrótkich, które odbijają się o drugą powierzchnię i powracają do odbiornika. W przypadku przeszkody na drodze część fal odbija się wcześniej, co rejestruje odbiornik. Odległość wady od powierzchni i jej rozmiary widoczne są na ekranie. Jak widać na schemacie (rys. 5-8), w odróżnieniu od metody prześwietlania, pomiar przy tej metodzie odbywa się po jednej stronie przedmiotu.

W procesie produkcji części szybowcowych podstawową czynnością jest cięcie. Arkusze blach przecina się na nożycach gilotynowych napędzanych silnikiem elektrycznym.

Stół roboczy maszyny powinien być wyłożony filcem, aby przy przesuwaniu nie rysować arkuszy blach aluminiowych i duralowych. Dobrze jest wyposażyć nożyce w przymiar kreskowy na boku stołu, pozwalający na odcinanie wymaganych wielkości blachy bez każdorazowego odmierzania ręcznego. Nożyce gilotynowe pozwalają na dokładne cięcie równoległych pasów blachy.




*Rys. 5-9. Schematy frezowania kopiałowego*

Należy zwrócić uwagę, że arkusz blachy stalowej o rozmiarach 1 m² i grubości 1 mm waży 7,85 kG, a każdy następny milimetr grubości daje wielokrotność tego ciężaru.

Do cięcia zarysów krzywoliniowych służą wycinarki młoteczkowe (dziurkarki) napędzane silnikiem elektrycznym. Pozwalają one odcinać fragmenty arkusza na zewnątrz, jak i wycinać dowolne kształty wewnątrz arkusza po uprzednim wywierceniu otworu wprowadzającego narzędzie.

Grube arkusze blach przecina się piłą taśmową, również napędzaną silnikiem elektrycznym. Na pile taśmowej można wycinać części o skomplikowanych kształtach.

Bardzo duże usługi w dziedzinie cięcia blach o jednakowych kształtach oddaje stołowa frezarko-kopiarka. Jest to obrabiarka pionowa dolno- lub górnowrzecionowa, w której prędkość obrotowa na wrzecionie wynosi 18 000÷30 000 obr/min. Naturalnie wrzeciono musi być bardzo starannie wyważone. Do wrzeciona zakłada się frez palcowy dwuostrzowy o średnicy roboczej około 8 mm i długości roboczej około 20 mm. Zasada frezowania kopiałowego polega na ręcznym przesuwaniu kopiału skręconego z blachami względem oporu umieszczonego pod wrzecionem. Można również przesuwać kopiał z blachami względem części walcowej freza lub nałożonego oporu na wrzeciono (rys. 5-9).

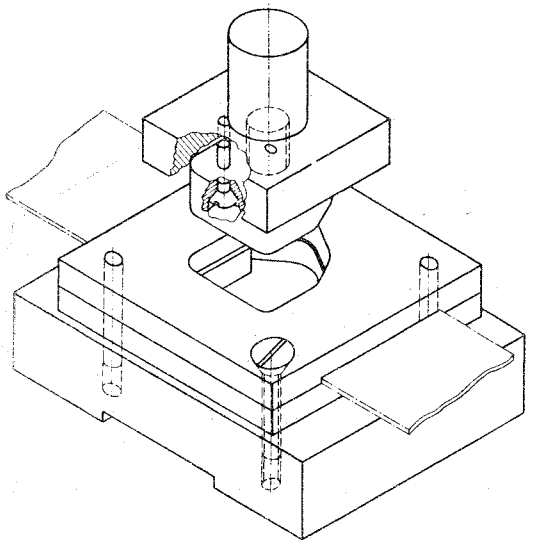
W celu zapewnienia pełnego bezpieczeństwa przy pracy kopiał i części blaszane umocowane są wspólnie do przyrządu drewnianego, najczęściej w postaci deski z dwoma uchwytami na rękę. Dobrze jest frezowanie

przeprowadzić dwukrotnie, pozostawiając na obróbkę wykańczającą 1 mm. Uzyskuje się to odpowiednimi średnicami oporu.

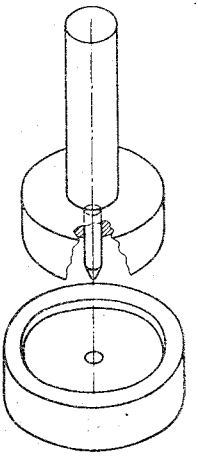
Odmianą wycinania blach o dowolnych kształtach na stołowej frezarko-kopiarce jest cięcie za pomocą frezarko-kopiarki promieniowej. Zasada frezowania kopiałowego jest ta sama, jedynie w tym przypadku frez z wrzecionem przesuwa się względem utwierdzonych blach z kopiałem. Obrabiarki te stosuje się przy frezowaniu dużych powierzchni.

Frezowane blachy mają krawędzie obrobione na gotowo, należy jedynie zukosować je za pomocą ręcznych gratowników.

Jedyną wadą frezowania kopiałowego jest stosunkowo wolne obrabianie, dlatego do wycinania małych kształtów stosuje się powszechnie wycinanie na prasach za pomocą wykrojników. Używa się ręcznych pras śrubowych lub pras mimośrodowych z napędem elektrycznym. Przykład typowego wykrojnika stosowanego w przemyśle maszynowym podano na rysunku 5-10.



*Rys. 5-10. Wykrojnik z prowadnicą płytową*



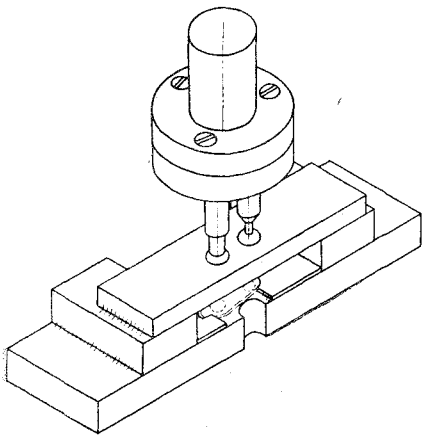
*Rys. 5-11. Wykrojnik do otworów*

Liczba wykonywanych części jest przeważnie bardzo mała, dlatego muszą być stosowane wykrojniki jak najprostsze. Z drugiej strony stosowanie wykrojników jest konieczne ze względu na skomplikowane kształty blach. Wykrojnikami wykonuje się również otwory ulżeniowe w blachach. Otwory na śruby okuć blaszanych są wykonywane na wykrojnikach w przypadku dużej liczby jednakowych blach; kiedy wykonuje się wykrojnik taktowy; w przeważającej ilości wykorzystuje się wycinanie na wykrojniku do jednoczesnego wybicia jedynie punktu pod wiercenie otworu.

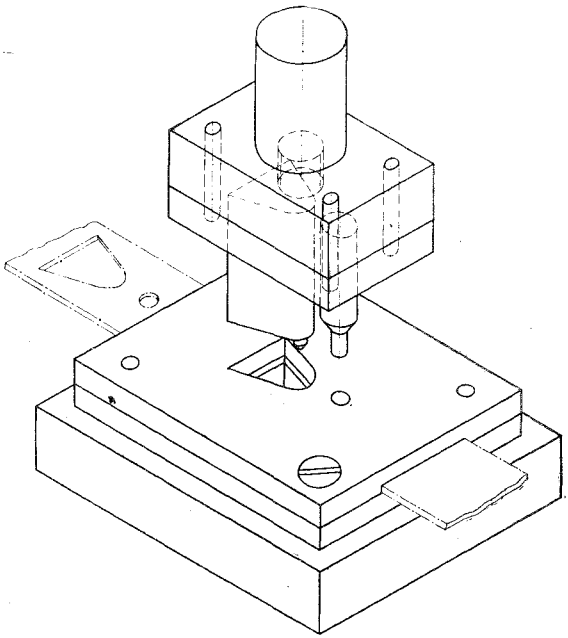
Przykład bardzo praktycznego wykrojnika do otworów ulżeniowych podano na rysunku 5-11. Jest to typ wykrojnika z prowadzeniem. Blachę z wstępnym otworem technologicznym podkłada się pod stempel, który jest prowadzony w krążku włożonym do pierścieniowej stalowej płyty tnącej. Płyta tnąca nie wymaga żadnego przytrzymania do stołu.

Do wycinania otworów w blachach pod śruby stosuje się wykrojniki z prowadnicami płytowymi, jak na rysunku 5-12. W tym przypadku cięcie zostało rozłożone na osobne wycinanie kształtu i wycinanie otworów. Przy złączeniu tych operacji stosuje się wykrojnik, jak na rysunku 5-13.

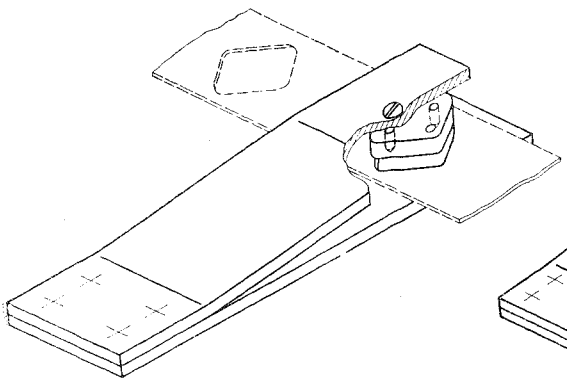
Materiał do wycinania przygotowany jest w postaci taśmy. Taśma jest prowadzona w kanale płyty prowadzącej stemple. Posuw taśmy regulowany jest pilotem umieszczonym na stemplu. Ważne jest umieszczenie osi czopa płyty czopowej w środku ciężkości rozmieszczonych stempli, w przeciwnym przypadku następuje nierówne obciążenie wykrojnika w czasie pracy.



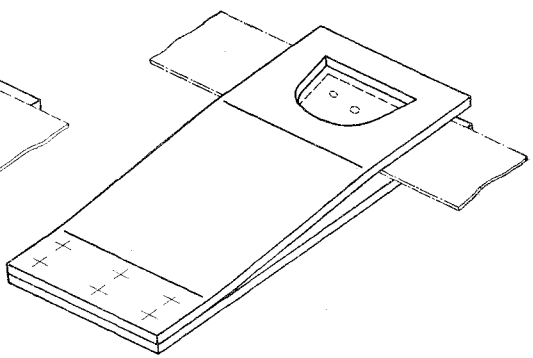
*Rys. 5-12. Wykrojnik do otworów z prowadnicą płytową*



*Rys. 5-13. Wykrojnik taktowy z prowadnicą płytową*



*Rys. 5-14. Wykrojnik zawiasowy ze stemplem u góry*

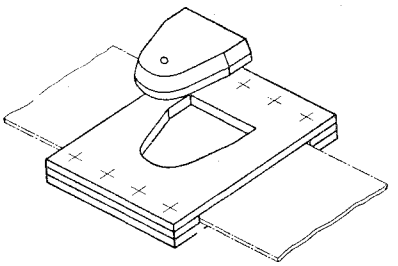


*Rys. 5-15. Wykrojnik zawiasowy ze stemplem u dołu*

Do cięcia długich wykrojów stosuje się stemple nożowe.

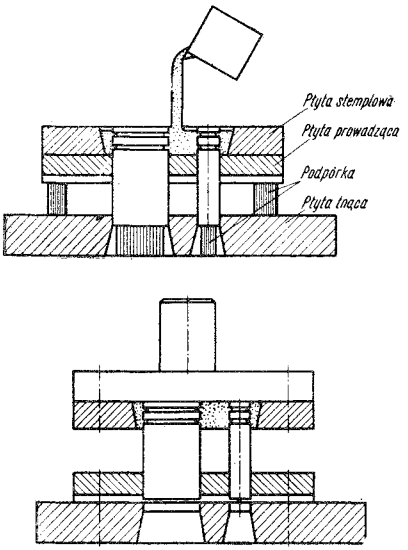
Do uproszczonych wykrojników mających powszechne zastosowanie zalicza się wykrojniki zawiasowe, tzw. kłapacze. Nie wymagają one umocowania na prasie. Stempel związany jest z płytą tnącą przez płaskownik, który sprężynuje (rys. 5-14, 5-15).

Na rysunkach widać różnicę w ułożeniu stempla w obu wykrojnikach. W jednym stempel jest niewidoczny z góry, wykrój spada w dół, w drugim stempel jest pod taśmą z blachy, a z góry widoczny jest otwór w płycie tnącej, do którego wpada wykrój. W jednym i drugim przypadku zastosowane są kołki stożkowe do wybicia punktów w wykroju pod wiercenie. Przy wykonywaniu wykrojników zawiasowych ważne jest zachowanie właściwych proporcji pomiędzy szerokością i długością. Należy pozostawić co najmniej 30 mm materiału na każdy bok płyty tnącej poza otworem i nie wykonywać ramion sprężynujących za długich, gdyż stempel może przesunąć się w czasie nacisku i nie trafić w otwór płyty tnącej.



*Rys. 5-16. Wykrojnik ze stemplem swobodnym*

Drugim typem wykrojnika uproszczonego jest wykrojnik ze stemplem swobodnym. Przykład takiego wykrojnika podano na rysunku 5-16. Wykrojnik tego typu wymaga najmniej materiału, jest bardzo praktyczny, gdyż nie ustala się go na prasie, wadą zaś jest konieczność każdorazowego wyciągania stempla, który wpada do otworu płyty tnącej wraz z wykrojem.




*Rys. 5-17. Schemat zalewania stempli żywicą*

Pracochłonność wykrojników uproszczonych waha się w granicach 3—10 roboczogodzin.

Przy produkcji szybowców mogą mieć zastosowanie również wykrojniki nożowe. Wycina się na nich różnego rodzaju podkładki, uszczelki itp. z miękkich materiałów, takich jak guma, skóra, tektura i fibra. Nóż ma kształt obwodu wycinanego przedmiotu, może być zrobiony z płaskownika. W zależności od tego, czy odpaść ma powierzchnia zewnętrzna czy wewnętrzna nadaje się nożowi kąt natarcia na ściance zewnętrznej lub wewnętrznej. Kąt ten powinien wynosić około 60°, zależnie od wycinanego materiału.

Ostatnio szerokie zastosowanie w budowie wykrojników znalazły tworzywa sztuczne. Przy wykonywaniu wykrojników z prowadnicami płytowymi bardzo trudne jest właściwe dopasowanie rozstawu stempli do otworów w płycie prowadzącej i tnącej. Radykalne uproszczenie wprowadza tu stosowanie utwardzanych na zimno żywic epoksydowych lub akrylowych. Żywicami zalewa się końce stempli znajdujące się w płycie stemplowej (rys. 5-17).

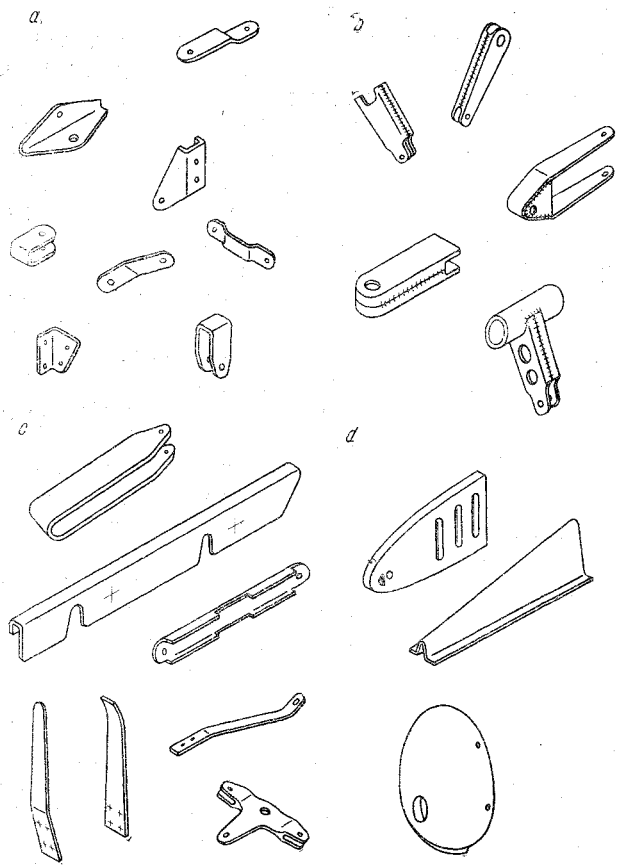
Powierzchnie zalewane należy starannie odtłuścić. Na płytę prowadzącą nanosi się warstwę rozdzielczą i dosuwa do płyty stemplowej w celu powstrzymania zalewanej żywicy. Z żywic krajowych stosuje się „Epidian 5" z dodanym wypełniaczem, którym może być kreda, talk, krzemionka, wata szklana lub ścinki tkaniny szklanej stosowanej przy produkcji osłon laminatowych. Masa powinna być półpłynna, zdolna wypełnić wszystkie szczeliny Do masy przed zalewaniem dodaje się utwardzacz.

Żywice akrylowe spotykane są pod nazwą „Dentacryl" — produkowane w Czechosłowacji.

### 5.5. OBRÓBKA PLASTYCZNA

W produkcji płatowców, a także szybowców metalowych obróbka plastyczna odgrywa zasadniczą rolę. Dzieli się ona na takie zagadnienia, jak gięcie, ciągnienie, wyoblanie, obciąganie, tłoczenie gumą, kucie na młotach spadowych.

W procesie produkcji szybowców drewnianych stosuje się obróbkę plastyczną w zakresie gięcia i ciągnienia.




*Rys. 5-18. Części podlegające obróbce plastycznej*

Części podlegające obróbce plastycznej można podzielić na kilka grup pokazanych na rysunku 5-18. Są to różnego rodzaju gięte blaszki o grubości do 2 mm, tworzące konsole, łączniki, podkładki (rys. 5-18*a*), gięte półfabrykaty o grubości do 1,5 mm tworzące po spawaniu dźwignie systemu pudełkowego (rys. 5-18*b*), gięte dźwignie i podwieszenia o grubości do 6 mm, gięte duże blachy o grubości do 2,5 mm, jak pasy okuć nośnych spawanych, burty, tablice przyrządów pokładowych, podłogi, płyty hamulcowe (rys. 5-18*c*) oraz ciągnione i tłoczone żebra i osłony z blach cienkich do 1,5 mm grubości (5-18*d*).

Dawne konstrukcje opierały się raczej na blachach stalowych spawanych, nowsze mają przeważnie blachy ze stopów lekkich nitowane.

Obróbka plastyczna wykonywana jest tylko na zimno. Z gięciem na zimno związany jest ściśle dobór właściwego promienia gięcia. Promień gięcia podawany jest najczęściej w zależności od grubości blach danego gatunku. W praktyce występowałby bardzo duży asortyment wielkości promieni gięcia, co utrudniałoby bardzo wykonywanie oprzyrządowania. Dlatego promienie gięcia normalizuje się opierając się na ciągu liczb normalnych.

Promienie gięcia dla materiałów stosowanych w konstrukcjach szybowcowych podano w tablicy 5-6.

Tablica 5-6

**Znormalizowane promienie gięcia blach**

| Materiał | | | Grubość $g$ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 6 |
| Stal | Blacha cienka materiał St 3 | promień r[2] | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 6 |
| | Blacha materiał 10-M | | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 6 |
| | Blacha materiał 20-N | | 0,8 | 1 | 1,5 | 1,5 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 10 |
| | Blacha materiał 30 HGS-M | | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 6 |
| Mosiądz | Taśma materiał M63-M | | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 6 |
| | Taśma materiał M63-Z 1/1 | | 0,8 | 1 | 1,5 | 1,5 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 10 |
| Stopy lekkie | Blacha materiał A1-M | | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 6 |
| | Blacha materiał PA1-M | | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 6 |
| | Blacha materiał PA4-T[1] | | 1 | 1,5 | 1,5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 15 |
| | Blacha materiał PA6-M | | 1 | 1,5 | 1,5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 15 |
| | Blacha materiał PA7-T[1] | | 1,5 | 1,5 | 2 | 2,5 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 15 |

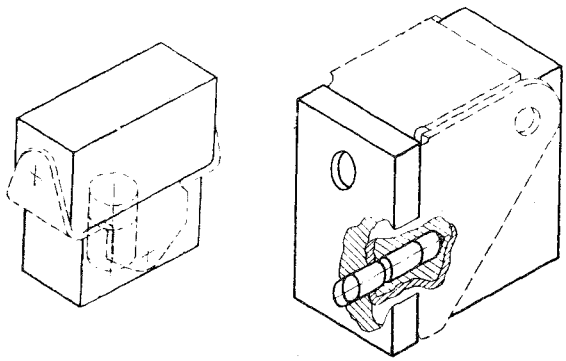
[1] poza okresem starzenia

[2] dotyczy blach o krawędziach stępionych

Kierunek walcowania blachy powinien być prostopadły do kierunku gięcia.

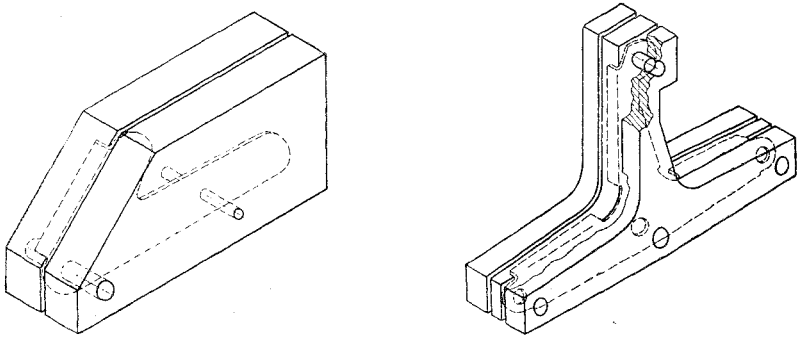
Zależnie od liczby wykonywanych sztuk stosuje się ręczne gięcie blach lub gięcie mechaniczne na prasach.

Do gięcia ręcznego używa się klocków lignofolowych lub stalowych. Przykłady najprostszego oprzyrządowania giętych konsolek podaje rysunek 5-19. Klocki skręca się razem z blachą w imadle ślusarskim.



*Rys. 5-19. Oprzyrządowanie do ręcznego gięcia*

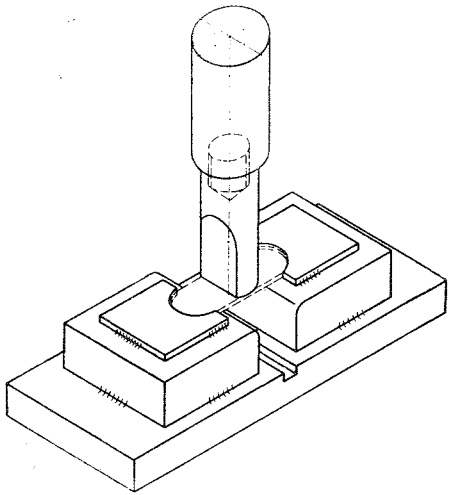
Gięcie blach na klockach ma również zastosowanie przy wykonywaniu różnych dźwigni. Najczęściej zachodzi konieczność wykonywania lewych i prawych części. Oprzyrządowanie tych części pokazane jest na rysunkach 5-20.



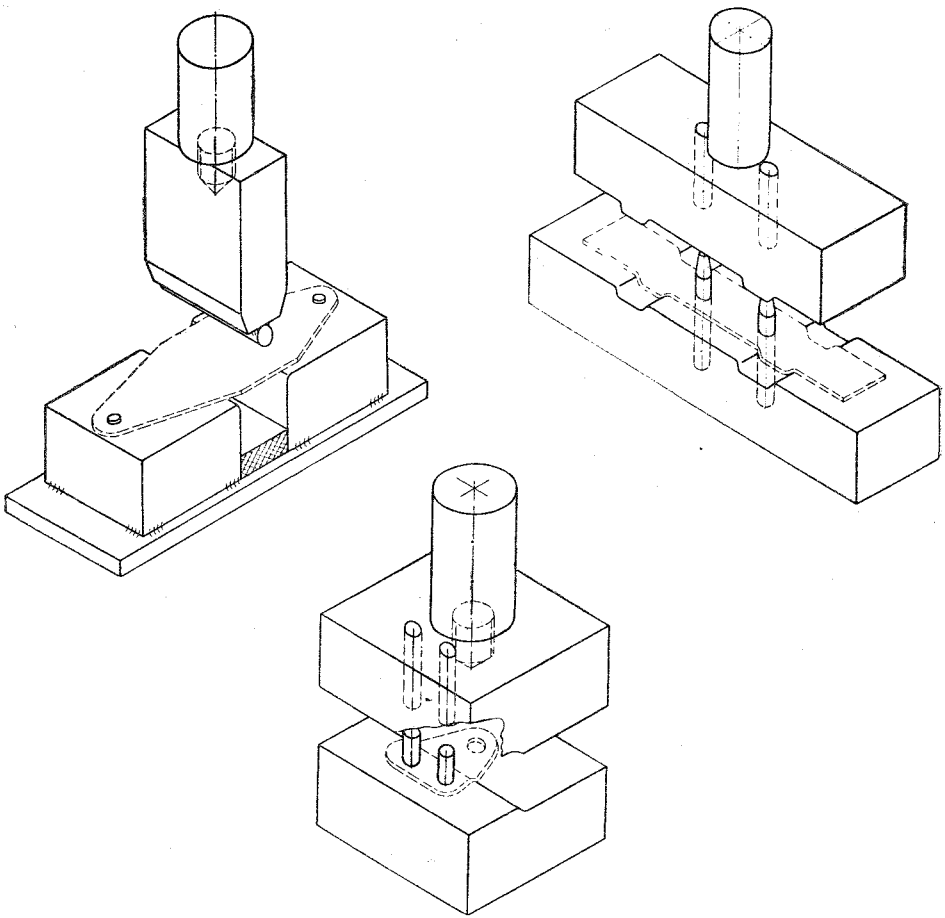
*Rys. 5-20. Przyrząd do gięcia lewej i prawej dźwigni*

Gięcie drobnych okuć blaszanych na prasach wymaga wykonania najprostszych foremników (rys. 5-21 i 5-22).

Ustalanie blach stosuje się na obrysie zewnętrznym (rys. 5-21) lub na otworach, w zależności od przyjętej technologii wykonania. Należy zwrócić uwagę, że przy krótszych półkach do gięcia może nastąpić zniekształcenie otworów już wywierconych; w tym przypadku konieczne jest stosowanie otworów technologicznych o mniejszej średnicy. Stosowanie blach z wywierconymi otworami jest prostsze ze względu na proces wiercenia, który prowadzi się na blasze płaskiej.

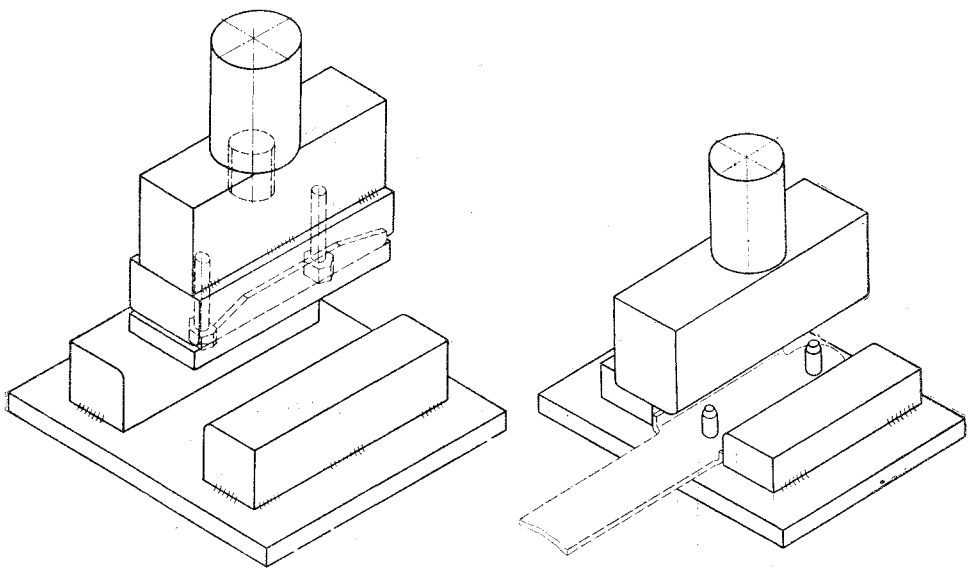


*Rys. 5-21. Gięcie z bazowaniem na obrysie*



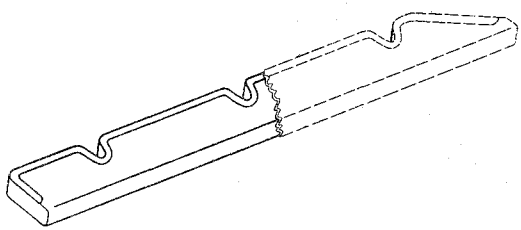
*Rys. 5-22. Gięcie z bazowaniem na otworach*

Blachy grube wymagają mocnego uchwycenia. Można zastosować każdorazowe przykręcanie śrubami do stempla lub bazowanie na otworach (rys. 5-23).



*Rys. 5-23. Gięcie grubej blachy na prasie*

Duże blachy, np. płyt hamulcowych, gnie się sposobem ręcznym na foremniku pokazanym na rysunku 5-24.



*Rys. 5-24. Foremnik do gięcia płyty hamulcowej*

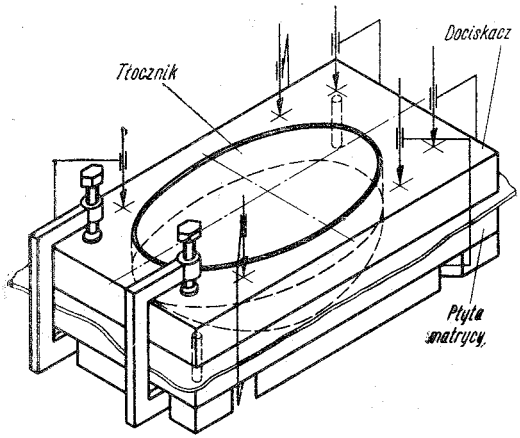
Oprócz blach giętych spotyka się również części podlegające ciągnieniu. Są to różne osłony z cienkich blach (rys. 5-25).

Blachę zakłada się pomiędzy dwie płyty z wyciętym otworem kształtowym i skręca odpowiednio zwornicami. Z góry tłoczy się powoli blachę tłocznikiem o zadanym kształcie kołpaka. W miarę wtłaczania tłocznika blacha formuje się, przytrzymywana na brzegu dociskaczem.

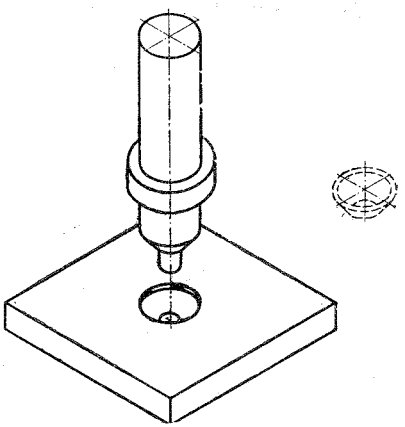
Małe blaszki tłoczone nie wymagają dociskania na obrzeżu. Formuje się je jak na rysunku 5-26.

Oprócz gięcia i tłoczenia blach występuje kształtowanie rur. Spotyka się przeważnie rury gięte w jednej płaszczyźnie. Rury gnie się na zimno. Przy rurach duralowych materiał musi być wyżarzony lub przesycony.

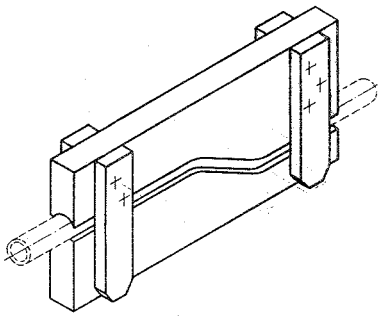
Wnętrze rur wypełnia się najczęściej suchym piaskiem dobrze ubijając go przez opukiwanie z zewnątrz. Gięcie prowadzi się na prasie przy użyciu foremnika, najczęściej drewnianego (rys. 5-27).




*Rys. 5-25*
*Oprzyrządowanie kołpaka blaszanego*



*Rys. 5-26*
*Oprzyrządowanie tłoczonej podkładki*



*Rys. 5-27*
*Foremnik do gięcia rury*

## 5.6. WIERCENIE

Proces wiercenia występuje przy wykonawstwie każdego okucia szybowcowego. Części wiercone można podzielić na półfabrykaty z blach oraz większe zespoły spawane z blach i rur. W zasadzie stosuje się tylko płytki wiertarskie jako najprostszą formę oprzyrządowania.

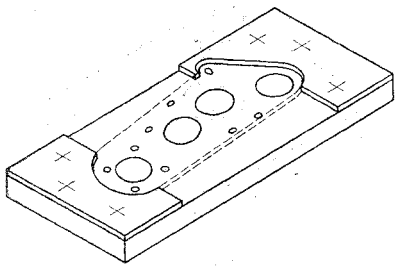
Do wiercenia otworów w wykrojach z blach wyciętych za pomocą wykrojników używa się uproszczonych płytek wiertarskich (rys. 5-28 i 5-29). Jest to płytka ze stali stopowej ulepszonej o grubości około 10 mm, w której wykonane są otwory zastępujące tulejki wiertnicze. Przedmiot umocowany jest na obrysie za pomocą odpadów blach z wycinania na wykrojniku. Obie części nituje się lub zgrzewa punktowo.

Na rysunku 5-28 pokazano płytkę odwróconą, a na rysunku 5-29 — płytkę w położeniu roboczym. Stosowanie płytek zaoszczędza czas indywidualnego trasowania i punktowania.

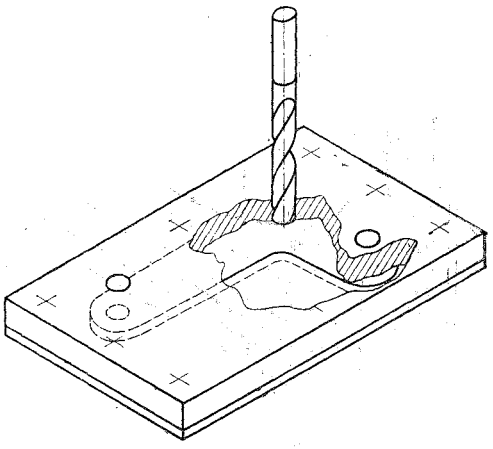
Niekiedy łączy się operację wiercenia z operacją gięcia. Wykorzystuje

się wówczas klocki do gięcia blach; osadza się w nich tulejki wiertarskie (rys. 5-30).

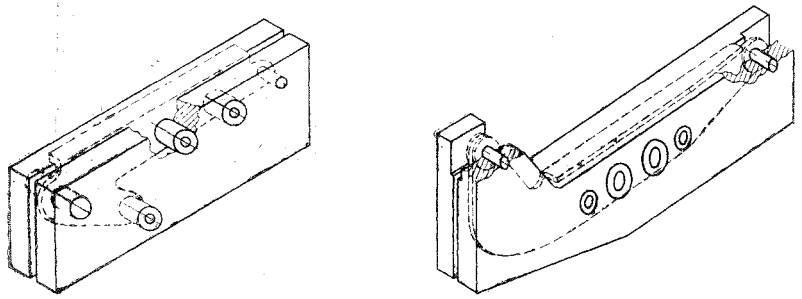
Do owiercania przedmiotów spawanych używa się grubszych płyt wiertarskich z osadzonymi tulejkami wiertarskimi. Jako płyta może być użyty ceownik (rys. 5-31). Inne rodzaje przyrządów pokazane są na ry-



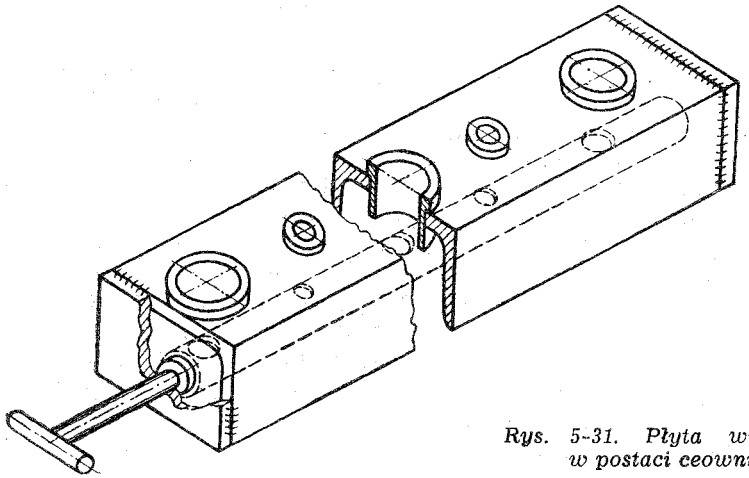
*Rys. 5-28. Uproszczona płytka wiertarska w położeniu odwróconym*



*Rys. 5-29. Uproszczona płytka wiertarska w położeniu roboczym*

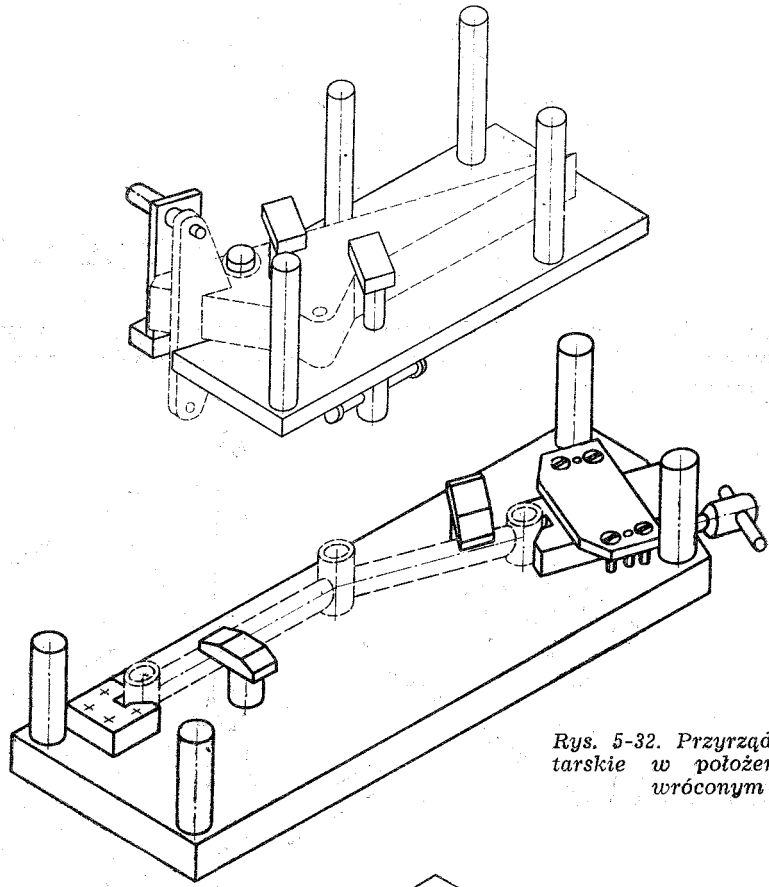


*Rys. 5-30. Przyrządy do gięcia i wiercenia*

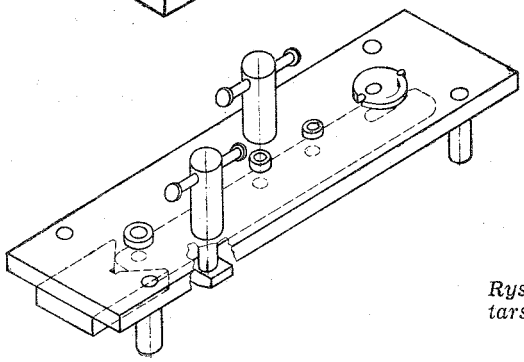


*Rys. 5-31. Płyta wiertarska w postaci ceownika*

sunkach 5-32 i 5-33. Płyta wspiera się na czterech nóżkach, a pod nią umieszcza się przedmiot obrabiany. Przedmiot umiejscowiony jest względem otworów za pomocą pryzm, a do płyty dokręcony jest śrubami hakowymi. Po ułożeniu przedmiotu pod płytą, jak na rysunku 5-32, przyrząd odwraca się i stawia na nóżki, jak na rysunku 5-33.



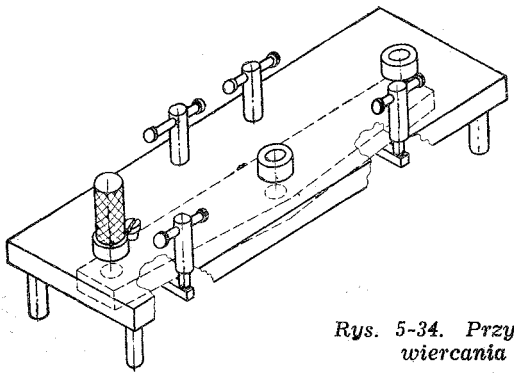
*Rys. 5-32. Przyrządy wiertarskie w położeniu odwróconym*



*Rys. 5-33. Przyrząd wiertarski w położeniu normalnym*

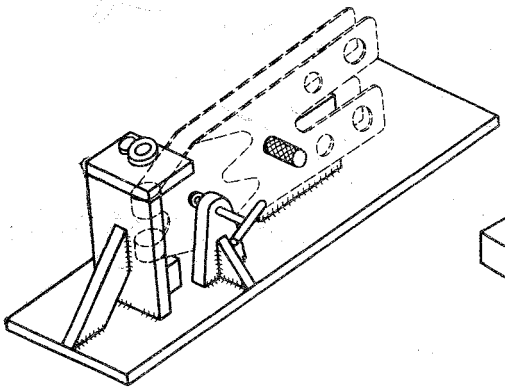
Niekiedy przyrząd wiertarski służy również do wykonywania otworów dokładnych przez rozwiercanie. Na rysunku 5-34 pokazano zastosowanie przyrządu z płytą wiertarską do rozwiercania otworów.

Do prowadzenia rozwiertaka użyta jest tulejka wymienna, mocowana za pomocą znormalizowanego zaczepu na śrubokręt.

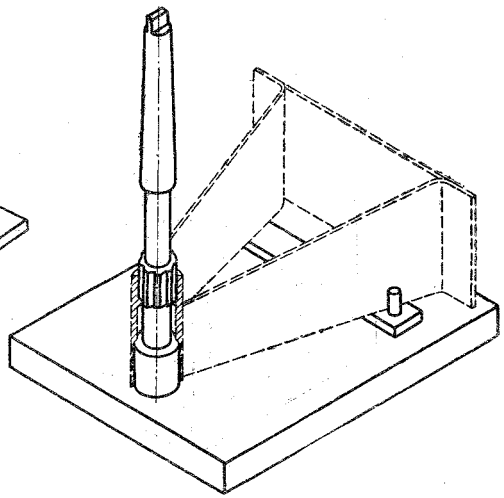


*Rys. 5-34. Przyrząd do rozwiercania otworów*

Oprócz płyt wiertarskich konstruuje się czasami specjalne przyrządy do rozwiercania. Przedmiot ustalany jest za pomocą dwóch śrub dociskowych bocznych oraz pilota.



*Rys. 5-35. Przyrząd do rozwiercania okucia głównego*



*Rys. 5-36. Rozwiercanie na zadaną głębokość*

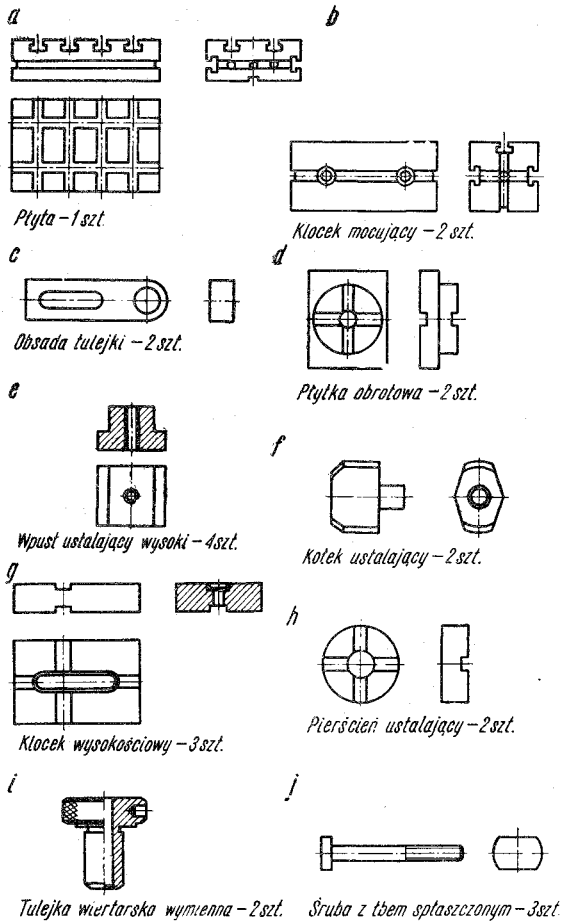
Zdarza się też konieczność posługiwania się rozwiertakiem specjalnie konstruowanym do przedmiotu obrabianego. Ma to miejsce np. w przypadku podanym na rysunku 5-36, kiedy konieczne jest wykonanie dokładnych otworów na zadaną głębokość.

### 5.7. UNIWERSALNE PRZYRZĄDY SKŁADANE

Wykonywanie części metalowych wymaga stosowania wielu przyrządów specjalnych. W skład ich wchodzą przyrządy: wiertarskie, frezarskie, tokarskie, wytaczarskie, szlifierskie do otworów oraz do szlifowania płaszczyzn, kontrolne i montażowe.

Produkcja jednostkowa i małoseryjna narzuca konieczność stosowania ograniczonej liczby przyrządów specjalnych.

Stosowanie Uniwersalnych Przyrządów Składanych (UPS) daje efekty w postaci zmniejszenia nakładów związanych z wykonawstwem przyrządów specjalnych oraz znaczne skrócenie cyklów przygotowania produkcji. Pomaga również w przypadkach awaryjnych. Przyrządy UPS służąc do szybkiego uruchamiania produkcji, w założeniu swoim nie mają zastępować przyrządów specjalnych dorabianych w trakcie przygotowywania produkcji seryjnej.




*Rys. 5-37. Przykład typowych części dla jednego przyrządu wiertarskiego UPS*

Obecnie wyłoniły się dwa systemy konstrukcyjne przyrządów składanych:

1) komplet oparty na płytach z rowkami teowymi,
2) komplet oparty na tarczach z otworami.

Komplet zawiera kilka tysięcy części i podzespołów i pozwala na jednoczesne złożenie 15 do 50 przyrządów.

Komplet oparty na tarczach z otworami nadaje się specjalnie dla prze-

mysłu precyzyjnego. W przemyśle maszynowym stosuje się system oparty na płytach z rowkami teowymi.

Wszystkie części wchodzące w skład kompletu UPS są bardzo dokładnie i starannie wykonane, ze specjalnie dobranych materiałów odpowiednio obrobionych cieplnie, odpornych na zużycie. Powierzchnie zabezpieczone są przed korozją czernieniem.

Zależnie od przeznaczenia rozróżnia się podstawy, części wspierające, prowadzące i ustalające, złączne, mocujące i podzespoły (rys. 5-37).

Podstawą konstruowania przyrządu składanego jest rysunek konstrukcyjny przedmiotu i technologia wykonania, a niekiedy wzór przedmiotu lub model. Technologia wykonania przy wykorzystaniu przyrządów UPS może się zmienić. Wykonanie przyrządu polega na montażu poszczególnych części typowych. Najczęściej obrabiany przedmiot ustawia się na płycie lub zespole klocków i obudowuje go odpowiednimi częściami UPS. Po zmontowaniu przyrządy podlegają sprawdzeniu.

Przeciętny czas budowy jednego przyrządu wynosi około 8 godzin i nie wymaga żadnych nakładów materiałowych. Przez zastosowanie przyrządów składanych unika się trasowania oraz operacji ręcznych.

Po wykorzystaniu przyrząd łatwo rozmontowuje się i poszczególne jego części służą do przyrządów następnych.

Uniwersalne Przyrządy Składane nie nadają się do operacji, podczas których może nastąpić uszkodzenie części, a więc do obróbki plastycznej, cieplnej i spawania.

### 5.8. SPAWANIE

Spawanie stosuje się w celu otrzymania połączeń nierozbieralnych. Głównymi zaletami spawania są: lekkość połączenia i szybkość wykonania, głównymi wadami zaś — silne nagrzewanie się części łączonych, a przez to wrażliwość na odkształcanie się lub pozostawienie naprężeń wewnątrz konstrukcji. Rozróżnia się dwa typy spawań: spawanie przez topienie i spawanie przez ścisk.

Spawanie przez topienie obejmuje spawanie gazowe i elektryczne łukowe. Doprowadzonym ciepłem do złącza topi się krawędzie, następuje zlanie się materiałów i przez to uzyskuje się trwałe połączenie.

Spoiną nazywa się zakrzepłą część złącza, składającą się z metalu stopionego podczas spawania.

Spoiwem nazywa się metal dodawany w czasie procesu spawania.

Stopiwem nazywa się metal otrzymany ze stopionego spoiwa.

Drugim rodzajem spawania jest spawanie przez ścisk, do którego należy zgrzewanie, czyli spawanie elektryczne oporowe.

Ciepło wytworzone wskutek oporu elektrycznego stawianego przez złącze umieszczone w obwodzie prądu doprowadza metal do stanu ciastowatego i nadtapia łączone powierzchnie. Pod działaniem siły ściskającej następuje zrastanie się ziaren krystalicznych metalu i przez to otrzymuje się trwałą zgrzeinę.

W budowie szybowców spotyka się następujące materiały podlegające procesom spawania: stale węglowe i stopowe, aluminium i stopy lekkie. Wszystkie materiały użyte do spawania muszą być dobrze spawalne.

Materiał spawalny powinien się dobrze łączyć, dawać połączenia o pełnej wytrzymałości i wymaganych własnościach fizycznych, dobrze znosić naprężenia i nie pękać.

Istnieje kilka sposobów sprawdzania materiału na spawalność. Są to badania składu chemicznego, badania struktury i własności mechanicznych, a przede wszystkim próby wrażliwości na pękanie.

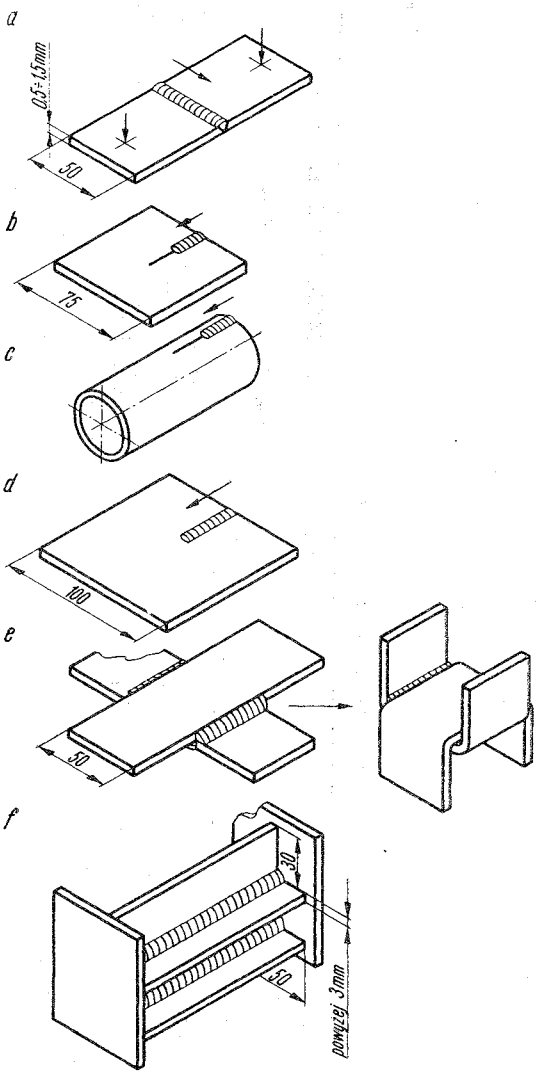
Kształty różnych próbek na pękanie pokazano na rysunku 5-38.

Próbę *a* wykonuje się w specjalnym przyrządzie, bardzo masywnym, do którego przykręca się dwie luźno wycięte próbki blach. Po umocowaniu, próbki spawa się przy użyciu gazu metodą „w prawo" od brzegu próbki jednym przejściem i pozostawia do ostygnięcia. Następnie wyciąga się z przyrządu i po opiaskowaniu bada się przez lupę na pęknięcia. Długość pęknięć nie powinna być większa od 10% w stosunku do całej długości spoiny. Pęknięcia powstają przeważnie po przeciwnej stronie próbek.

Próby *b*, *c* i *d* przeprowadza się bez dodawania materiału, przy czym spawa się od krawędzi do środka.

Próba *e* polega na spawaniu na krzyż dwóch próbek i wygięciu końców jak na rysunku. Jest to próba bardzo ciężka dla materiału.

Próba *f* służy do badania spawalności blach przy spawaniu łukowym. Próbę tę prowadzi się kolejno spawając najpierw dwie blachy w kształcie teownika, następnie spawa się razem dwa teowniki, a na końcu spawa się dwie płytki czołowe. Jeżeli nie wystąpią nigdzie pęknięcia stal jest bardzo dobrze spawalna.




*Rys. 5-38. Kształty próbek na pękanie przy spawaniu*

Jeżeli występują pęknięcia na samej spoinie, to wnioski wyciąga się w stosunku do spoiwa.

Ogólnie przyjmuje się, że stale węglowe są spawalne gazowo przy zawartości węgla do 0,35%, elektrycznie łukowo — do 0,4% węgla i zgrzewalne — do 0,55% węgla. Przy stalach o wyższej zawartości węgla spoiny mają tendencję do pękania, gdyż podczas spawania tworzy się struktura twarda, lecz mało plastyczna, podobna jak podczas hartowania. Do-

Tablica 5-7

**Druty stalowe do spawania stali**

| Spawany materiał wg PN-61/H-84020 i PN-61/H-84019 | | | | | | | | | Druty stalowe wg PN-64/M-69420 do spawania: a) gazowego b) elektrycznego łukowego w atmosferze argonu (25 HM, 30 HGS) | | | | | | | | | Grubość materiału spawanego [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Oznaczenie | Skład chemiczny [%] | | | | | | | | Oznaczenie | Skład chemiczny [%] | | | | | | | | średnica drutu [mm] | |
| | C max | Mn max | Si | P max | S max | Cr | Ni | Mo | | C max | Mn max | Si | P max | S max | Cr | Ni | Mo | | |
| St2S | 0,15 | 0,50 | max 0,07 | 0,050 | 0,055 | | | | Sp 1A | max 0,10 | 0,30 ÷ 0,55 | max 0,03 | 0,03 | 0,03 | max 0,20 | max 0,30 | | 1 ÷ 1,5 | 1+1 |
| 10 | 0,07 ÷ 0,14 | 0,35 ÷ 0,65 | 0,17 ÷ 0,37 | 0,040 | 0,040 | | | | | | | | | | | | | 1,5 | 1+2 |
| 20 | 0,17 ÷ 0,24 | 0,35 ÷ 0,65 | 0,17 ÷ 0,37 | 0,040 | 0,040 | | | | | | | | | | | | | 1,5 | 1,5+1,5 |
| 25 HM | 0,22 ÷ 0,29 | 0,50 ÷ 0,80 | 0,17 ÷ 0,37 | 0,020 | 0,015 | 0,90 ÷ 1,20 | max 0,40 | 0,15 ÷ 0,25 | Sp N9 | 0,15 ÷ 0,22 | 0,40 ÷ 0,70 | 0,12 ÷ 0,35 | 0,03 | 0,025 | 0,80 ÷ 1,10 | max 0,30 | 0,15 ÷ 0,30 | 2 | 1,5+2 |
| 30 HGS | 0,25 ÷ 0,35 | 0,80 ÷ 1,10 | 0,90 ÷ 1,20 | 0,040 | 0,040 | 0,80 ÷ 1,10 | max 1,40 | | | | | | | | | | | 2 | 2+2 |

Tablica 5-8

**Elektrody do spawania stali**

| Spawany materiał według PN-61/H-84020 i PN-61/H-84019 | | | | | | | | | Elektrody stalowe według PN-64/M-69433 oraz PN-64/M-69434 do spawania elektrycznego łukowego | | | | | | | | | | Grubość materiału spawanego [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Oznaczenie | Skład chemiczny [%] | | | | | | | | Oznaczenie | Skład chemiczny [%] | | | | | | | | Średnica elektrody [mm] | |
| | C max | Mn max | Si | P max | S max | Cr | Ni | Mo | | C max | Mn max | Si | P max | S max | Cr | Ni | No | | |
| St 2S | 0,15 | 0,50 | max 0,07 | 0,050 | 0,055 | | | | EP-52-28P (E42) | 0,08 | 0,6 | 0,1 | 0,04 | 0,04 | | | | 2 | 1 |
| 10 | 0,07 ÷ 0,14 | 0,35 ÷ 0,65 | 0,17 ÷ 0,37 | 0,040 | 0,040 | | | | | | | | | | | | | 2,5 | 2 |
| 20 | 0,17 ÷ 0,24 | 0,35 ÷ 0,65 | 0,17 ÷ 0,37 | 0,040 | 0,040 | | | | | | | | | | | | | 3,25 | 3 |
| 25 HM | 0,22 ÷ 0,29 | 0,50 ÷ 0,80 | 0,17 ÷ 0,37 | 0,020 | 0,015 | 0,90 ÷ 1,20 | max 0,40 | 0,15 ÷ 0,25 | ESCrMo-Z (EHM) | 0,06 ÷ 0,12 | 0,5— 0,9 | 0,15 0,45 | 0,04 | 0,04 | 0,7— 1,1 | | 0,40— 0,70 | 3,25—4 | 4 |
| 30 HGS | 0,25 ÷ 0,35 | 0,80 ÷ 1,10 | 0,90 ÷ 1,20 | 0,040 | 0,040 | 0,80 ÷ 1,10 | max 0,40 | | | | | | | | | | | 4 ÷ 5 | 6 |

Tablica 5-9

**Druty do spawania stopów lekkich**

| Spawany materiał według PN-59/H-88026 | | | | | | | | | | | Drut wg PN-59/H-93837 do spawania: a) gazowego b) elektrycznego łukowego w atmosferze argonu | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Oznaczenie | Skład chemiczny [%] | | | | | | | | | | Oznaczenie | Średnica [mm] | | | | | | |
| | Al | Mg | Mn | Si | Fe | Si | Cu | Zn | Mg | Inne zanieczyszczenia | | 2,0 | | | 2,5 | 3 | 4 |
| | | | | | | | | | | | | stosowana do grubości blach mm | | | | | | |
| PA1 | reszta | — | 1,0 ÷ 1,6 | — | 0,7 | 0,6 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | PA1 | 0,6 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 |
| PA4 | reszta | 0,7 ÷ 1,2 | 0,6 ÷ 1,0 | 0,7 ÷ 1,2 | 0,5 | — | 0,1 | 0,2 | — | 0,1 | PA 27 | 0,6 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 4 |

Tablica 5-10

**Skład chemiczny drutów do spawania stopów lekkich**

| Drut według PN-59/H-93837 do spawania stopów lekkich | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Oznaczenie | Skład chemiczny [%] | | | | | | | | | | | |
| | Al | Mg | Mn | Si | V | Fe | Si | Fe + Si | Cu | Zn | Mg | Inne zanieczyszczenia |
| PA1 | reszta | — | 1,0 ÷ 1,6 | — | — | 0,7 | 0,6 | — | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,1 |
| PA27 | reszta | 4,8 ÷ 5,5 | 0,3 ÷ 0,6 | — | 0,02 ÷ 0,20 | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 0,05 | 0,2 | — | 0,1 |

dawane spoiwo w czasie spawania gazowego, może mieć najwyżej 0,04% fosforu i 0,03% siarki.

Ze stali stopowych używane są w budowie szybowców stale chromowo-molibdenowe o znaku HM oraz stale chromowo-manganowo-krzemowe o znaku HGS. Stale HM odznaczają się doskonałą spawalnością i nadają się do spawania wszystkimi sposobami, stale HGS są trudniej spawalne ze względu na niski współczynnik przewodnictwa cieplnego i tworzenie się żużla spowodowane większą zawartością manganu i krzemu niż w stalach HM.

Stwierdzone jest, że dodatek chromu powoduje kruchość i dlatego części spawane należy wyżarzać; molibden zwiększa wytrzymałość sto-

pow, mangan obniża wrażliwość stali na pękanie, gdyż reaguje z siarką, krzem przeciwdziała kruchości materiału i podwyższa wytrzymałość. Siarka i fosfor powodują kruchość, dlatego zawartość ich musi być odpowiednio ograniczona.

Aluminium można spawać wszystkimi metodami, lecz przy zachowaniu specjalnych warunków spawania.

Aluminium nagrzewa się znacznie dłużej niż stal, gdyż ma większą przewodność cieplną, w czasie grzania nie zmienia swej barwy, stąd trudniej jest ocenić stopień nagrzewania, ma dużą skłonność do odkształceń ze względu na wysoki współczynnik rozszerzalności.

Przy spawaniu aluminium muszą być stosowane topniki, które stapiają tlenki znajdujące się na powierzchni metalu. Tlenki mają znacznie wyższą temperaturę topliwości niż aluminium i ochraniają płynny metal przed bardzo szybkim utlenianiem się. Stosowanie topników wymaga bardzo dokładnego ich usuwania po skończonym spawaniu ze względu na łatwość wywoływania korozji. Topniki usuwa się przez mycie w gorącej wodzie w temperaturze 60÷80° C.

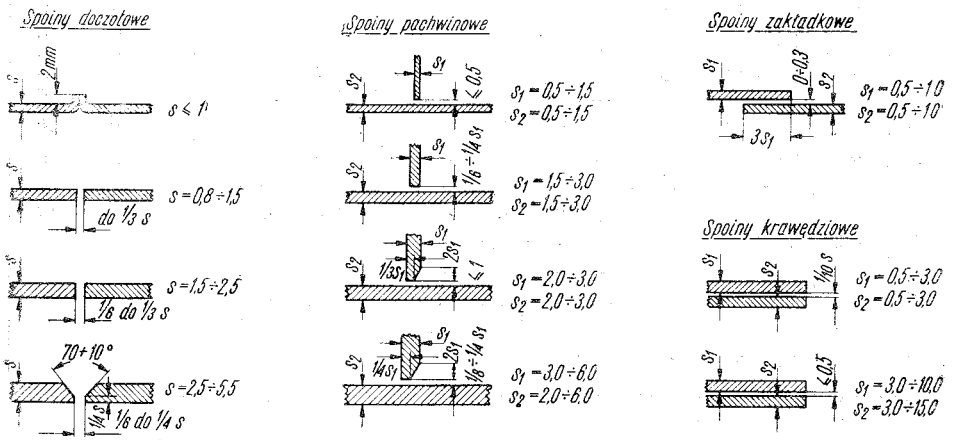
Proces zgrzewania aluminium wymaga również zupełnie innych parametrów niż stal, zgrzewarki zaś mają dużo większe moce.

Stopy aluminiowe typu Al-Mn (PA1), Al-Mg (PA2 i PA3) oraz Al-Mg-Si (PA4) spawalne są gazowo. Natomiast stopy typu Al-Cu-Mg, czyli durale, nadają się do spawania łukowego w atmosferze argonu oraz do zgrzewania.

Do materiału spawanego należy odpowiednio dobrać spoiwo. Ogólnie, stapiane druty i elektrody powinny być z tego samego materiału co części łączone. Od właściwego gatunku spoiwa zależą własności połączenia. Spoiwo musi mieć ograniczoną ilość zanieczyszczeń. Zawartość siarki i krzemu powoduje złe uchodzenie gazów i zażużlenie. Nie powinno ono dawać rozprysków. Ważny jest właściwy dobór średnic spoiwa zależnie od grubości łączonych części. Wykaz odpowiednich gatunków spoiw podają tablice 5-7, 5-8, 5-9 i 5-10.

Zbyt gruby drut powoduje przepalenia materiału spawanego, za cienki topi się szybko i przepala dając spoinę przyklejoną.

Podobnie jak materiał spawany, tak i spoiwo musi być czyste na zewnątrz (najlepiej piaskowane i odpylone lub odtłuszczone), w przeciw-

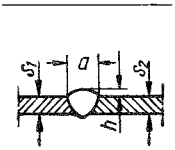
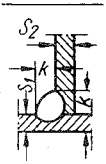
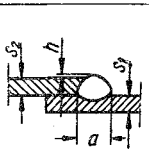
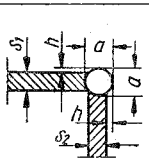
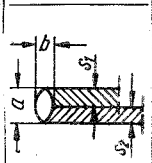



*Rys. 5-39. Odstępy pomiędzy spawanymi częściami*

nym przypadku zanieczyszcza się spoinę w czasie spawania oraz powoduje tworzenie się porowatości w stopiwie.

Spoiwo należy przebadać przed użyciem na topliwość przez nałożenie spoiny na odpowiednim gatunku materiału. Próbę wykonuje się bez dodatku topnika. Zakończenie spoiny nie powinno mieć porów i pęknięć.

Topniki produkuje się w postaci płynów, proszków i past. Mają one niższą temperaturę rozpuszczania od spawanego materiału. Charakteryzuje je dobra rozpuszczalność tlenków metali tworząc żużel, przy czym ciężar właściwy żużla powinien być bardzo mały, aby mógł on utrzymy-

| Grubość łączonych części | | Połączenie | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | stykowe | | stykowe | zakładkowe | | kątowe | | stykowe | |
| | | spoina | | | | | | | | |
| | | czołowa | | pachwinowa | pachwinowa | | pachwinowa | | krawędziowa | |
| | |  | |  |  | |  | |  | |
| $S_1$ | $S_2$ | $a$ | $h$ | $k$ | $a$ | $h$ | $a$ | $h$ | $a$ | $b$ |
| 0,5 | 0,5 | 3,0 ÷ 4,0 | 0,15 ÷ 0,30 mniejszej grubości $S$ | 2,0 ÷ 4,5 | 1,5 ÷ 4,0 | 0,10 ÷ 0,30 grubości $S$ | 1,0 ÷ 2,5 | 0,10 ÷ 0,30 mniejszej grubości $S$ | Nie mniej niż sumaryczna grubość blach | Nie mniej niż 1,5 grubości cieńszej blachy |
| 0,5 | 1,0 | 3,0 ÷ 4,5 | | 2,0 ÷ 5,0 | 2,0 ÷ 4,5 | | 1,0 ÷ 3,0 | | | |
| 1,0 | 1,0 | 4,0 ÷ 5,5 | | 2,5 ÷ 5,5 | 2,5 ÷ 5,0 | | 1,5 ÷ 3,5 | | | |
| 1,0 | 1,5 | 4,0 ÷ 5,5 | | 2,5 ÷ 6,0 | 2,5 ÷ 6,0 | | 1,5 ÷ 4,0 | | | |
| 1,0 | 2,0 | 4,0 ÷ 6,0 | | 3,0 ÷ 6,5 | 3,0 ÷ 6,5 | | 1,5 ÷ 4,5 | | | |
| 1,0 | 3,0 | 4,0 ÷ 6,5 | | 3,5 ÷ 7,0 | 3,5 ÷ 7,0 | | 2,0 ÷ 4,5 | | | |
| 1,5 | 1,5 | 4,0 ÷ 6,0 | | 3,5 ÷ 6,5 | 4,0 ÷ 7,0 | | 2,0 ÷ 4,0 | | | |
| 1,5 | 2,0 | 4,5 ÷ 6,0 | | 4,0 ÷ 7,5 | 4,0 ÷ 7,0 | | 2,0 ÷ 4,5 | | | |
| 1,5 | 3,0 | 4,5 ÷ 6,5 | | 4,0 ÷ 8,0 | 4,0 ÷ 7,5 | | 2,5 ÷ 5,0 | | | |
| 2,0 | 2,0 | 5,0 ÷ 7,0 | | 5,0 ÷ 8,5 | 4,5 ÷ 8,0 | | 2,5 ÷ 4,5 | | | |
| 2,0 | 3,0 | 5,0 ÷ 7,5 | | 5,0 ÷ 9,0 | 5,0 ÷ 8,5 | | 2,5 ÷ 5,0 | | | |
| 2,0 | 4,0 | 5,5 ÷ 8,0 | | 5,0 ÷ 9,5 | 5,0 ÷ 9,0 | | 3,0 ÷ 5,5 | | | |
| 2,5 | 2,5 | 6,0 ÷ 8,5 | | 5,5 ÷ 9,0 | 5,5 ÷ 9,0 | | 3,0 ÷ 5,5 | | | |
| 2,5 | 4,0 | 6,0 ÷ 9,0 | | 5,5 ÷ 10,0 | 5,5 ÷ 10,0 | | 3,5 ÷ 6,0 | | | |
| 3,0 | 3,0 | 7,0 ÷ 9,0 | | 6,0 ÷ 9,5 | 6,0 ÷ 10,5 | | 4,0 ÷ 6,0 | | | |
| 3,0 | 4,0 | 8,0 ÷ 9,5 | | 6,0 ÷ 10,0 | 6,0 ÷ 11,0 | | 4,0 ÷ 6,5 | | | |
| 4,0 | 4,0 | 8,0 ÷ 10,0 | | 7,0 ÷ 10,0 | 7,0 ÷ 11,5 | | 4,5 ÷ 6,5 | | | |

Dopuszcza się przekroczenie danych wymiarów o ±30%

W spoinach pachwinowych mniejsze wielkości odnoszą się do spawania łukowego, a większe do spawania gazowego.

*Rys. 5-40. Wymiary spoin typowych połączeń spawanych*

wać się na powierzchni metalu roztopionego. Po ostygnięciu pozostałości topnika dają się łatwo usuwać.

Części przeznaczone do spawania muszą być odpowiednio przygotowane. Przede wszystkim powinny być dokładnie odtłuszczone i odczyszczone. Przed spawaniem gazowym najlepiej stal wypiaskować, przed zgrzewaniem zaś odtlenić. Powierzchnie blach aluminiowych i ze stopów lekkich muszą być wyjątkowo czyste i dobrze przylegać do siebie. Ponadto krawędzie blach muszą być odpowiednio przygotowane, jeżeli spawanie ma zapewnić pełną wytrzymałość połączenia.

Najcieńsze blachy wywija się na krawędziach i spawa bez dodatku spoiwa. Blachy cienkie, do 2,5 mm, wymagają odstępu w czasie spawania w celu dokonania odpowiedniego przetopu, zaś grubsze — wykonania ukosowania i odstępu.

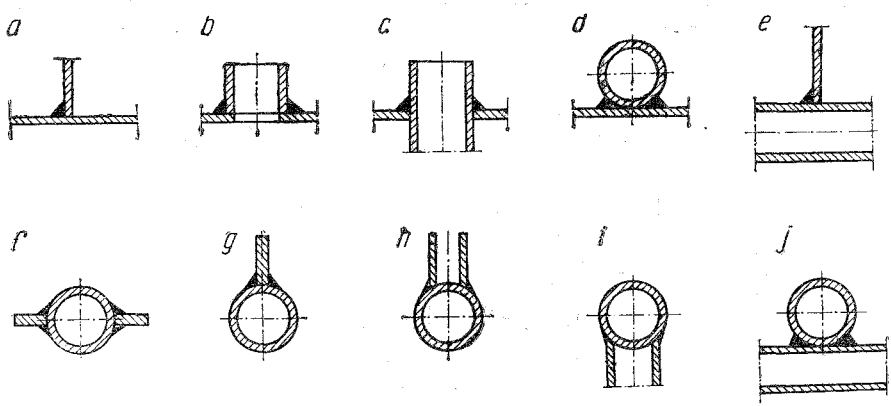
Prawidłowe wymiary krawędzi i spoin typowych połączeń spawanych podano na rysunkach 5-39 i 5-40.

### 5.8.1. Przyrządy do spawania

Części szybowcowe podlegające spawaniu można podzielić pod względem wykonania na kilka rodzajów: spawa się blachę z blachą, blachę z rurą, rurę z rurą oraz wyjątkowo pręt z blachą lub rurą.

Najczęściej spotyka się spawanie blach cienkich i rur cienkich. Spawanie blach powyżej 2,5 mm grubości należy do wyjątków. Ścianki rur nie dochodzą nawet do tych wielkości, stąd charakter spawania jest bardzo specyficzny.

Spawanie służy do łączenia przygotowanych półfabrykatów w postaci wyciętych i powyginanych blaszek z wierconymi otworami, przyciętych

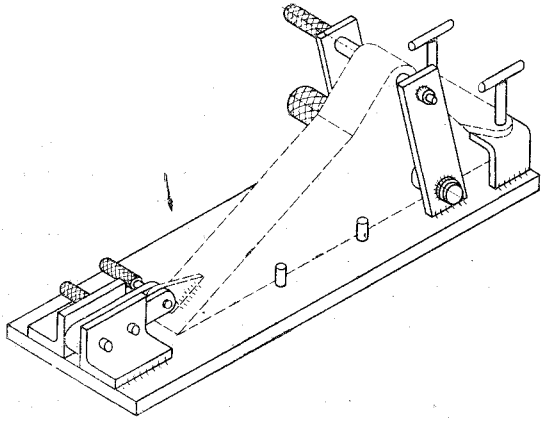



*Rys. 5-41. Klasyfikacja połączeń pachwinowych*

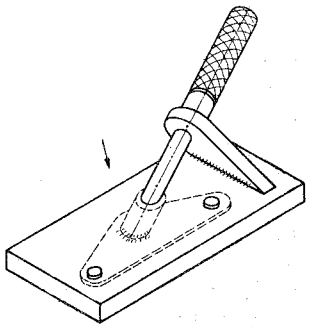
*a* — blacha-blacha, *b* — blacha-rura dostawiona, *c* — blacha-rura na wylot, *d* — blacha-rura w poprzek, *e*, *f*, *g*, *h*, *i* — rura-blacha dostawiona, *j* — rura-rura w poprzek

rurek oraz niekiedy pospawanych podzespołów. Spawania nie da się wykonać bez oprzyrządowania.

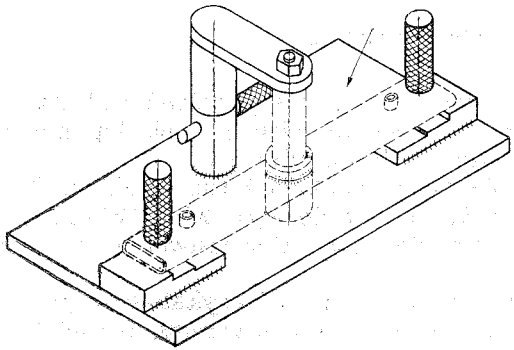
Na ogół spawacz ma do czynienia tylko ze spoinami poziomymi podolnymi i naściennymi.



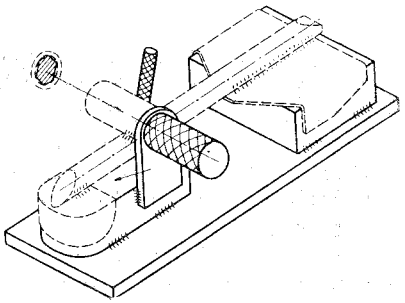
*Rys. 5-42. Przykład oprzyrządowania połączenia pachwinowego blacha-blacha*



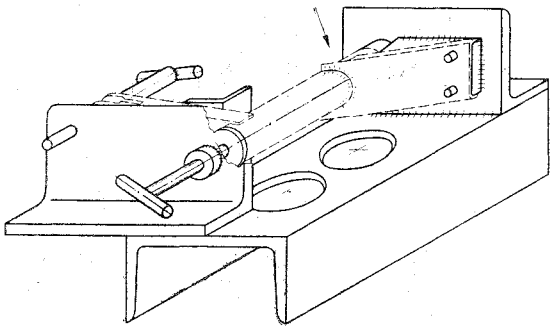
*Rys. 5-43. Przykład oprzyrządowania połączenia pachwinowego blacha-rura dostawiona*



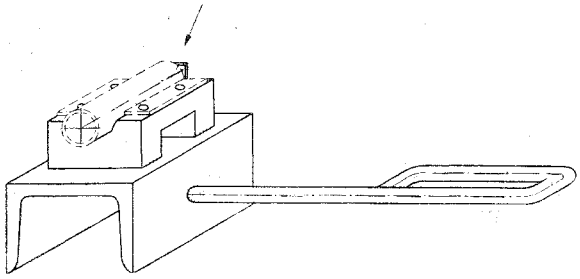
*Rys. 5-44. Przykład oprzyrządowania połączenia pachwinowego blacha-rura na wylot*



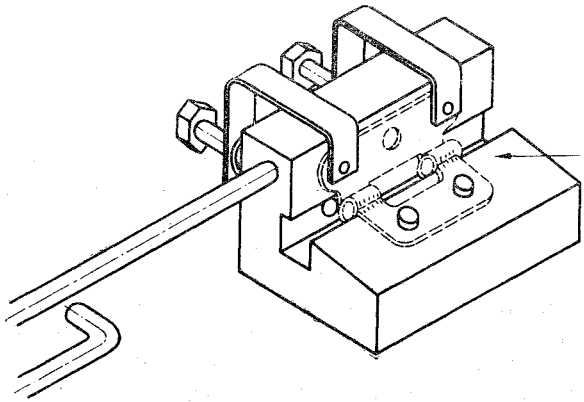
*Rys. 5-45. Przykład oprzyrządowania połączenia pachwinowego blacha-rura w poprzek*



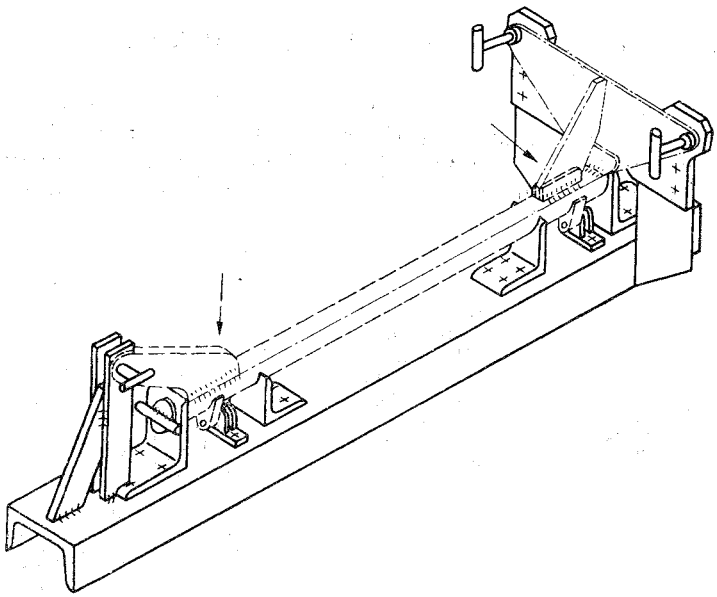
*Rys. 5-46*
*Przykład oprzyrządowania połączenia pachwinowego rura-blacha dostawiona*



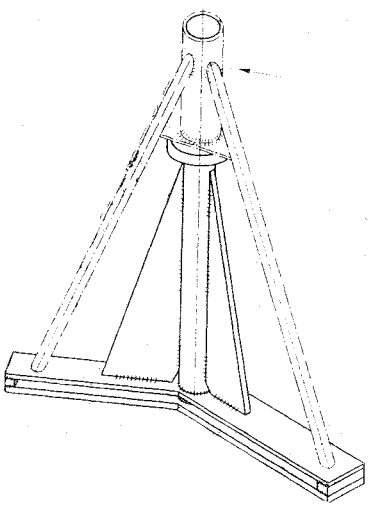
*Rys. 5-47*
*Przykład oprzyrządowania połączenia pachwinowego rura-dwie blachy dostawione*



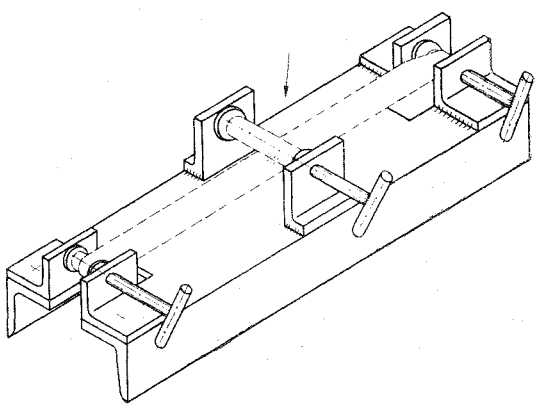
*Rys. 5-48*
*Przykład oprzyrządowania połączenia pachwinowego rura-blacha dostawiona*



*Rys. 5-49*
*Przykład oprzyrządowania połączenia pachwinowego rura-dwie blachy dostawione*



*Rys. 5-50. Przykład oprzyrządowania połączenia pachwinowego rura-rura dostawiona*



*Rys. 5-51. Przykład oprzyrządowania połączenia pachwinowego rura-rura w poprzek*

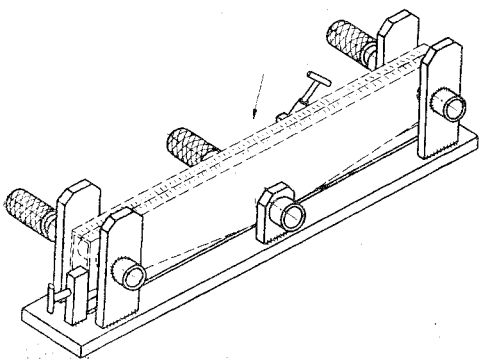
Przyrządy do spawania umożliwiają wykonywanie jednakowych części i zapewniają poprawność geometrii.

Podstawowymi materiałami do konstrukcji przyrządów są ceowniki, kątowniki i płaskowniki. Przyrządy są konstrukcji spawanej. Stosuje się spawanie elektryczne łukowe. Przyrządy wykonuje się bardzo zgrubnie obrabiając tylko powierzchnie pracujące. Ważne jest niepozostawianie ostrych i wystających miejsc, które mogą kaleczyć pracownika przy posługiwaniu się przyrządem. Przeważnie przyrząd zapewnia uchwycenie wszystkich części spawanych; przy wyjątkowym uproszczeniu wymagana jest pomoc drugiej osoby w celu przytrzymywania części kleszczami.

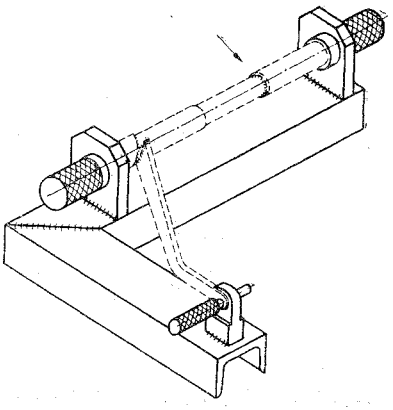
Do ustalania blach wykorzystuje się powiercone otwory. Przyrząd ma osadzone na wcisk niskie kołki walcowe. Oprócz tych mają zastosowanie piloty radełkowane i z przetyczką oraz śruby i nakrętki z przetyczką. Części gwintowane nie są polecane ze względu na zacieranie się gwintu pod wpływem ciepła.

Typowe połączenia spawane dzielą się na stykowe, zakładkowe i kątowe (patrz rys. 5-40).

Przeważająca liczba spawanych części szybowca ma połączenia stykowe pachwinowe. Można je dodatkowo sklasyfikować jak na rysunku 5-41. Stosownie do przedstawionej klasyfikacji podane są przykłady rozwiązań konstrukcyjnych przyrządów (patrz rys. 5-42 do 5-51).



*Rys. 5-52. Przykład oprzyrządowania połączeń stykowych ze spoiną czołową*

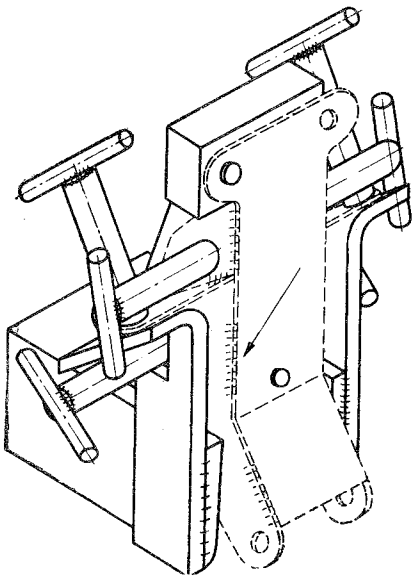


*Rys. 5-53. Przykład oprzyrządowania połączeń zakładkowych ze spoiną pachwinową*

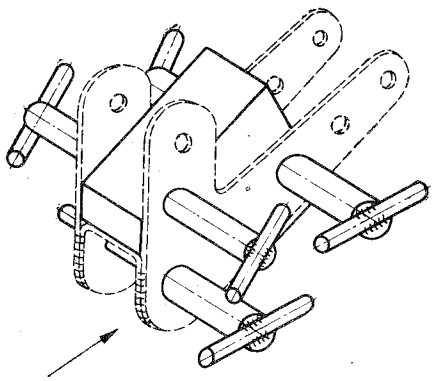
Powracając do typowych połączeń spawanych, oprócz połączeń stykowych pachwinowych występują połączenia:
— stykowe ze spoiną czołową (rys. 5-52),
— zakładkowe ze spoiną pachwinową (rys. 5-53),
— kątowe ze spoiną pachwinową (rys. 5-54),
— stykowe ze spoiną krawędziową (rys. 5-55).

Połączenia kątowe ze spoiną pachwinową stosuje się bardzo rzadko.

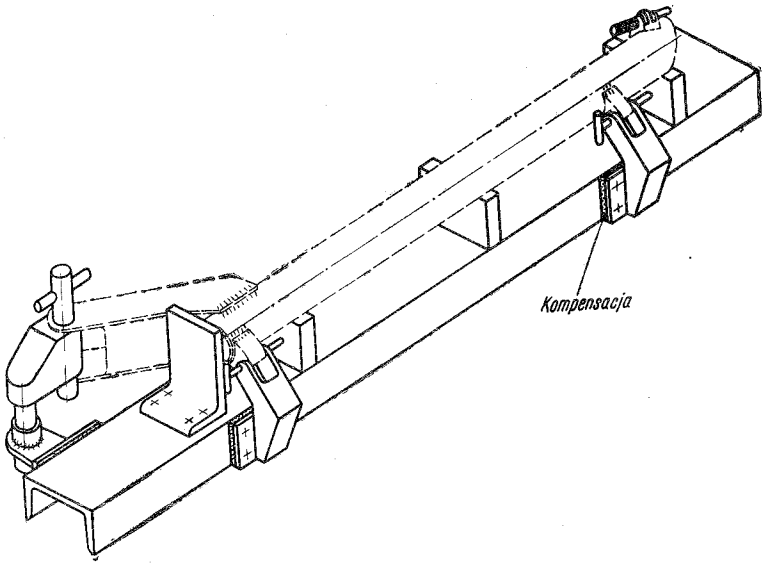
Przy konstrukcji przyrządów spawalniczych można stosować kompensację ustalaczy. Pozwala ona na szybkie zmontowanie przyrządu według wymaganej geometrii. Przykład kompensacji masą zalewową cementowo-gipsową (receptura podana w rozdziale 9.2) podano na rysunku 5-56.



*Rys. 5-54. Przykład oprzyrządowania połączeń kątowych ze spoiną pachwinową*



*Rys. 5-55. Przykład oprzyrządowania połączeń stykowych ze spoiną krawędziową*

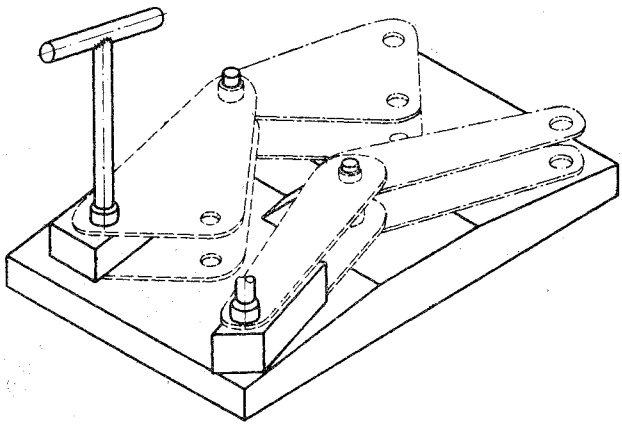



*Rys. 5-56. Przyrząd z kompensowanymi ustalaczami*

Niektóre części spawane wykonuje się jako lewe i prawe. Podaje to rysunek konstrukcyjny. Przykład przyrządu przystosowanego do wykonywania części lewej i prawej podano na rysunku 5-57.

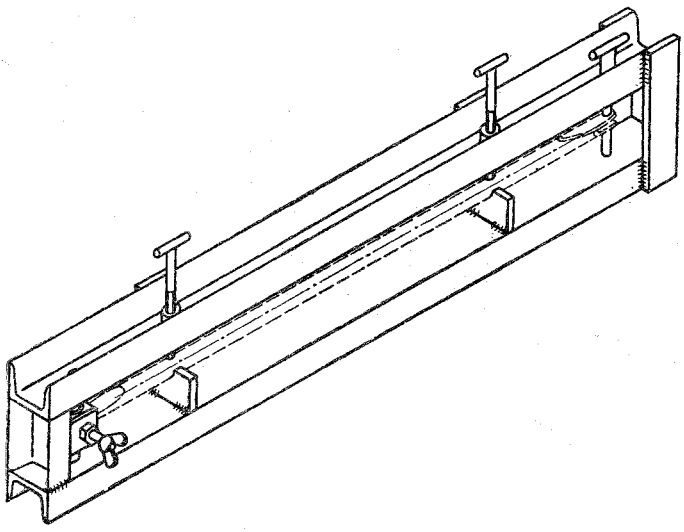
Przyrząd spawalniczy może służyć również do wiercenia otworów po spawaniu (rys. 5-58).

We wszystkich częściach, w których konieczne jest zachowanie rozstawu otworów w tolerancjach bezwzględnych, wierci się otwory. Dotyczy to przeważnie spawanych ramion, zastrzałów oraz konstrukcji kratowych.



*Rys. 5-57. Przyrząd dostosowany do wykonywania części lewej i prawej*

Wskutek nagrzewania materiału w czasie spawania następuje skurcz spawalniczy, którego nie da się uniknąć. Dlatego końcowe wiercenie jednej strony części spawanej wykonuje się po spawaniu i obróbce cieplnej.

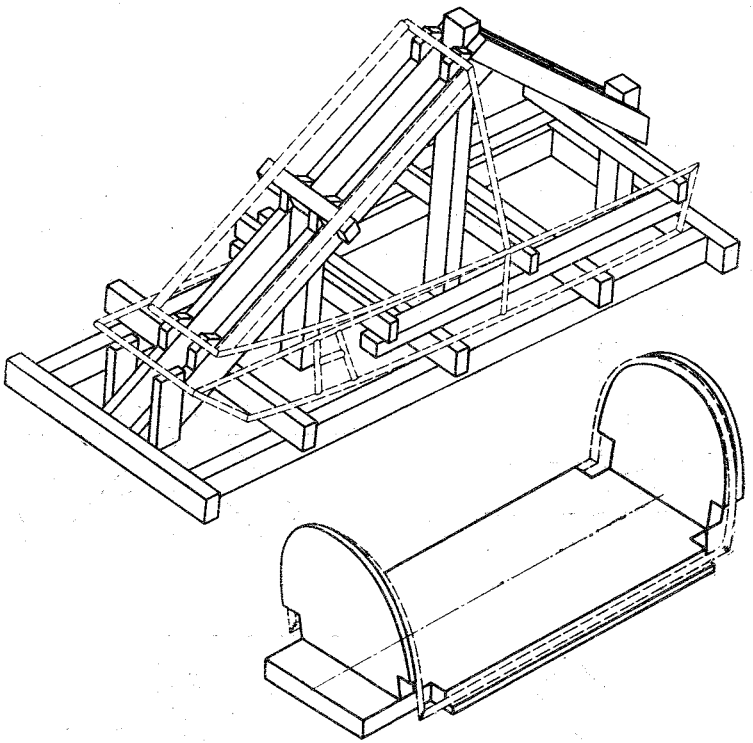


*Rys. 5-58. Przyrząd spawalniczo-wiertarski*

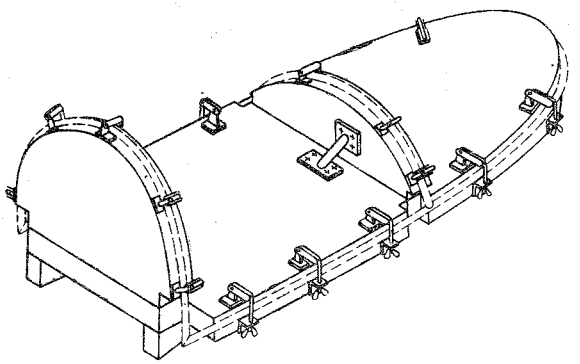
Do spawania dużych zespołów złożonych z rur stosuje się również oprzyrządowanie. Zależy ono od liczby wykonywanych egzemplarzy. Najprostsze przyrządy wykonuje się z drewna. Służą one do sczepiania wszy-

stkich rur ze sobą. Przykłady takich przyrządów podano na rysunku 5-59. Do utrzymywania rur w przyrządzie służą ręczne ściski sprężynowe.

Przyrząd przeznaczony do wykonywania serii jednakowych konstrukcji rurowych zaopatrzony jest w zaciski śrubowe, jak na rysunku 5-60.



*Rys. 5-59. Przyrządy do spawania ramy osłony pilota*



*Rys. 5-60. Przyrząd do spawania ramy osłony pilota z zaciskami śrubowymi*

Spawanie krat należy do trudnych zabiegów produkcyjnych. Do tego celu służą przyrządy do sczepienia oraz przyrządy do całkowitego spawania.

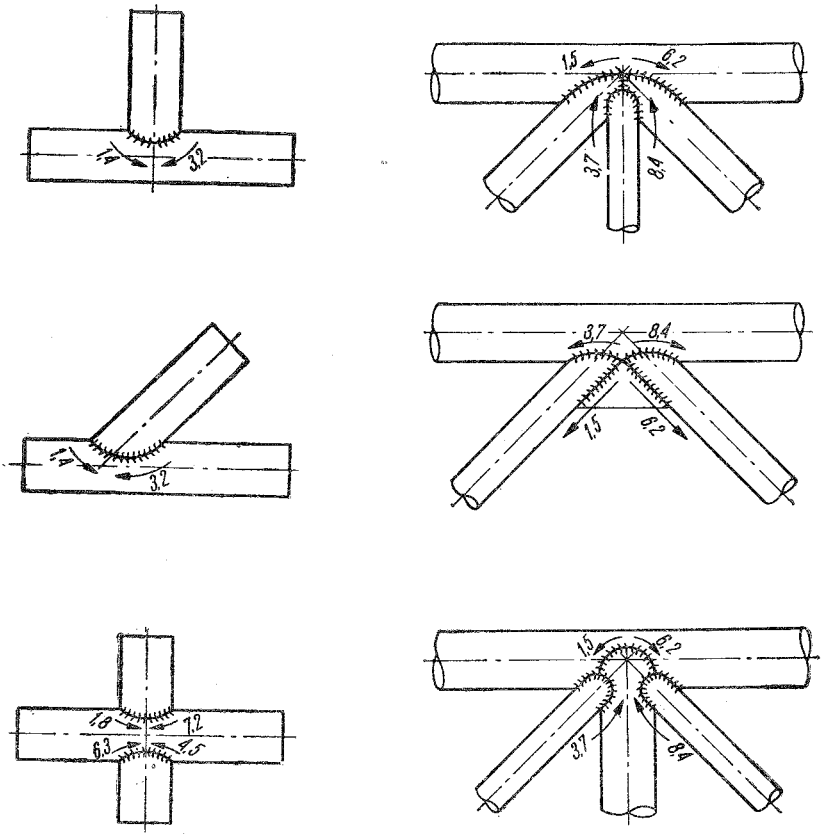
Spawanie krat sczepionych poza przyrządem daje większe odkształcenia. Następują skurcze wymiarowe i zwichrzenia, lecz część jest pozba-

wiona naprężeń wewnętrznych i nie wykazuje skłonności do pękania. Natomiast spawanie krat w przyrządzie zapewnia dokładność i powtarzalność wymiarów, ale pozostawia w przedmiocie spawanym naprężenia wewnętrzne i tendencje do pękania.

Wady występujące podczas spawania krat zmniejsza się przez odpowiedni dobór kolejności spawania poszczególnych węzłów i wykonania spoin oraz właściwe kierunki układania spoin.

Należy przyjąć zasadę, aby spawanie końca rury następowało zawsze po ochłodzeniu jej drugiego końca. Spawanie powinno się rozpoczynać od miejsc podlegających najsilniejszemu grzaniu, wówczas wolne końce mogą się jeszcze swobodnie przemieszać bez wprowadzania naprężeń. Jeżeli spawa się pręt usztywniony, to pod wpływem początkowego grzania występują w nim naprężenia ściskające, gdyż nie może się on rozprężyć. Po przekroczeniu temperatury, w jakiej materiał przestaje być sprężysty, naprężenia cofają się, aby narastać znowu podczas stygnięcia.

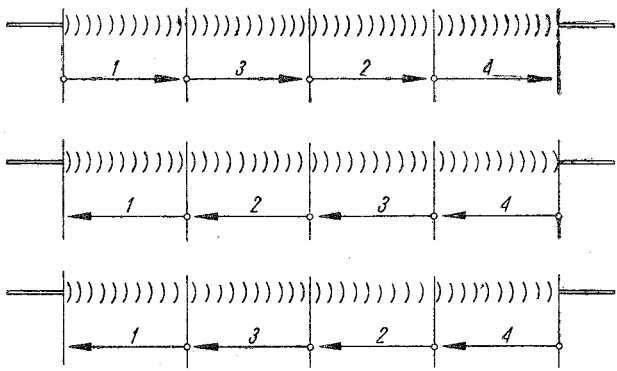
Pręty usztywniające kratę należy spawać na samym końcu.




*Rys. 5-61. Kolejność i kierunki spawania węzłów rurowych*

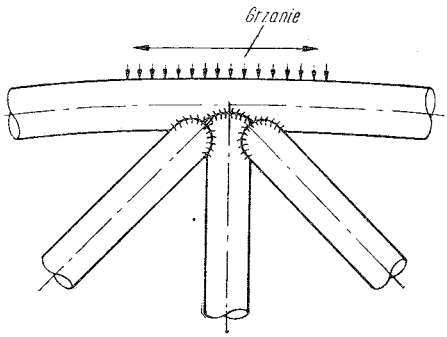
Rury powinny być w poszczególnych węzłach dokładnie dopasowane. Pozostawianie brakującego materiału powoduje zwiększenie czasu i temperatury nagrzewania podczas spawania, co prowadzi do większych skurczów i naprężeń. Rury nie powinny też być za ciasno spasowane, gdyż przy nagrzewaniu rozszerzają się i powodują odkształcenia kraty.

Jeżeli krata jest spawana z prętów o niejednakowych wymiarach, to spawanie należy rozpocząć od prętów mocniejszych, a do nich dospawać pręty słabsze. Ważne jest zastosowanie odpowiedniej kolejności wykonywania spoin w węźle oraz kierunki układania spoin. Przykłady spawania węzłów rurowych podano na rysunku 5-61. Przy spawaniu długich spoin dzieli się je na krótsze odcinki.




*Rys. 5-62. Kolejność i kierunki spawania odcinków długiej spoiny*

Przy produkcji seryjnej krat kolejność spawania ustala się podczas spawania pierwszych egzemplarzy. Robi się pomiary otrzymanych wymiarów i odkształceń oraz badania spoin na pęknięcia.




*Rys. 5-63. Sposób prostowania kraty*

Po spawaniu kratę można jeszcze prostować. Wykorzystuje się tu zjawisko skurczu przy lokalnym nagrzewaniu i stygnięciu. Rurę należy podgrzać palnikiem acetylenowym do barwy czerwonej na stronie wypukłej (rys. 5-63).

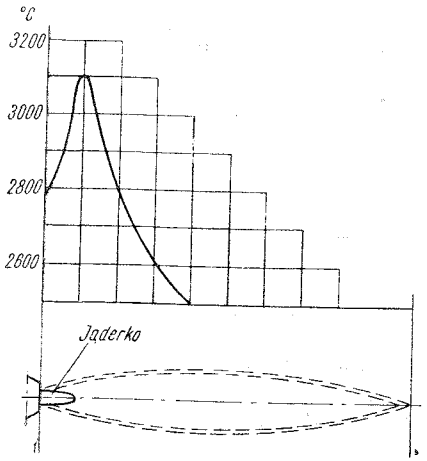
### 5.8.2. Spawanie gazowe

Do spawania gazowego zalicza się spawanie płomieniem acetylenowym, wodorowym i benzolowym. Dwa ostatnie nie znajdują zastosowania w przemyśle lotniczym.

Ze wszystkich odmian spawań najprostsze jest spawanie acetylenowe. Pozwala ono spawać większość metali stosowanych w konstrukcji szybowców i nie wymaga skomplikowanej aparatury.

Metal topi się pod wpływem działania płomienia wytwarzanego przez spalanie acetylenu w atmosferze tlenu ($C_2H_2+O_2$). Mieszaninę obu gazów wytwarza się w palniku.

Z wykresu na rysunku 5-64 można odczytać, że temperatura na końcu jąderka wynosi 3100° C. Przy spawaniu koniec jąderka powinien prawie dotykać miejsca powstającego jeziorka ciekłego metalu.

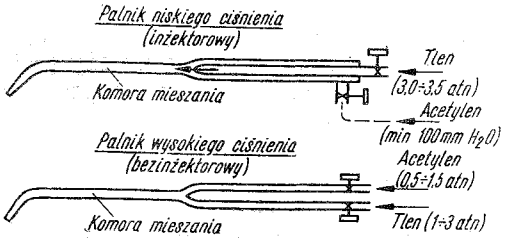



*Rys. 5-64. Wykres temperatury płomienia acetylenowego*

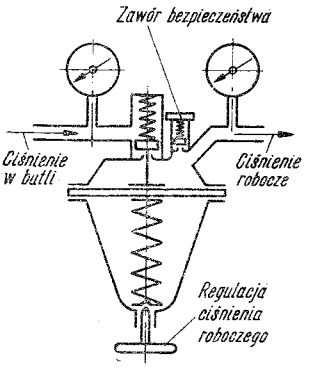
Płomień ustawia się przez regulację zaworów palnika. Przy nadmiarze tlenu jąderko jest krótkie, wyraźnie zarysowane i silnie świeci; przeciwnie jest przy niedomiarze tlenu. Płomień normalny powstaje przy pewnym niezupełnym spalaniu acetylenu, objętościowy stosunek tlenu do acetylenu wynosi wówczas 1,2:1 do 1:1. W miejscu dotykania jąderka do metalu wytwarza się wówczas strefa odtleniająca, zawierająca tlenek węgla i wodór, gdyż następuje niezupełne spalanie acetylenu.

Schemat działania palnika podano na rysunku 5-65. Najczęściej używa się palnika niskiego ciśnienia, tzw. inżektorowego. W palniku tlen pod ciśnieniem dopływa do inżektora. Acetylen pod małym ciśnieniem dopływa do wylotu inżektora, skąd jest zasysany przez wypływający tlen do komory mieszankowej. W komorze następuje wymieszanie obu gazów.

Palniki mają wymienne końcówki o różnych średnicach dysz wylotowych i nadają się do spawania różnych grubości materiałów. Przyjmuje się, że wydajność palnika (ilość acetylenu spalanego w czasie 1 godziny) powinna wynosić przy spawaniu stali 100÷150 l/h, a aluminium 75÷100 l/h na 1 mm grubości łączonych części.




*Rys. 5-65. Schemat działania palnika acetylenowego*




*Rys. 5-66. Schemat reduktora*

Acetylen jest gazem palnym, wrażliwym na zmiany temperatury i ciśnienia. Dostarczany jest w butlach (wypełnionych masą porowatą) roz-

puszczony w acetonie i sprężony najwyżej do 30 at. Przeważnie butle stalowe zawierają 5÷6 kG acetylenu przy ciśnieniu 15 at., co równa się około 5 $m^3$. Butle zaopatrzone są w zawory stalowe.

Tlen dostarczany jest w butlach stalowych o pojemności wodnej 40 l pod ciśnieniem 150 at. Butle mają zawsze zawory mosiężne.

Na butle acetylenowe i tlenowe zakłada się reduktory w celu otrzymania ciśnienia roboczego (rys. 5-66).

Reduktory acetylenowy i tlenowy działają na tej samej zasadzie. W reduktorze gaz rozpręża się od ciśnienia panującego w butli do ciśnienia roboczego. Oba ciśnienia pokazują manometry. Ciśnienie robocze można regulować odpowiednią śrubą. Reduktor wyposażony jest w zawór bezpieczeństwa.

Spawanie gazowe stosuje się do łączenia części o grubości ścianek ponad 0,6 mm. Temperatura otoczenia podczas spawania nie powinna być niższa niż +5° C, ze względu na wrażliwość materiału na pękanie.

Przed spawaniem części należy sczepić ze sobą, aby zachować wymaganą odległość krawędzi na całej długości. Sczepianie wykonuje się palnikiem gazowym. Ważny jest właściwy wybór miejsc sczepionych. Nie wolno sczepiać części spawanych w miejscach skupień dużych naprężeń, czyli przy zakończeniach spoin, przy małych promieniach gięcia itp.

Sczepianie powinno być prowadzone symetrycznie od środka na zewnątrz połączeń spawanych, do punktu oddalonego od brzegu około 10 mm. Prawidłowy rozstaw sczepin podano w tablicy 5-11. W przypadku sczepiania obustronnego sczepiny umieszcza się na przemian po obu stronach.

Tablica 5-11

**Prawidłowy rozstaw sczepin**

| Grubość materiału [mm] | Odstęp sczepin [mm] | |
|---|---|---|
| | spawanie gazowe | spawanie łukowe |
| 0,5÷1 | 20÷30 | — |
| 1÷2 | 30÷50 | 45÷75 |
| 2÷4 | 50÷80 (stopy lekkie) | 60÷80 |
| ponad 4 | 80÷120 (stopy lekkie) | 80÷150 |

Sczepianie wymaga dużej wprawy; chodzi o to, aby nie dopuścić do pękania materiału. Wykonuje się je tym samym wymiarem palnika co późniejsze spawanie. Palnik powinien być ustawiony na płomień normalny, zaś przy stalach krzemowych — z lekkim nadmiarem acetylenu, aby nie dopuścić w czasie sczepiania do płomienia utleniającego.

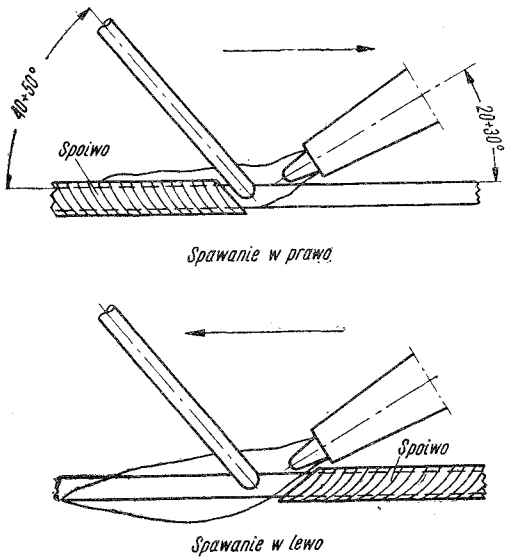
Miejsce sczepiania należy najpierw podgrzać palnikiem na odcinku 20÷35 mm do zmiany barwy stali na kolor czerwony, później stopić krawędzie i dodać spoiwo, następnie wolno usuwać płomień, ciągle podgrzewając ośrodek, aż do utraty koloru. Przy łączeniu materiałów o nierównej grubości, grubszą część należy podgrzać z odwrotnej strony.

W technice spawania palnikiem rozróżnia się trzy metody nakładania spoiny:

1) spawanie w lewo — płomień wyprzedza spoinę i przesuwa się za spoiwem (drutem),
2) spawanie w prawo — płomień ogarnia powstającą spoinę i przesuwa się przed spoiwem (drutem),
3) spawanie w górę — spawanie przesuwa się z dołu do góry.

Metodę pierwszą stosuje się do spawania materiałów cienkich, sposób drugi — do spawania materiałów grubszych; jest on wydajniejszy o około 20%. Sposób trzeci nie znajduje zastosowania w produkcji szybowców.

Schemat spawania w lewo i w prawo podano na rysunku 5-67.




*Rys. 5-67. Metody nakładania spoiny*

W czasie spawania następuje stopnienie metalu. Czas stopnienia zależy od przewodności cieplnej materiału i szybkości spawania. Przy spawaniu gazowym następuje największe objęcie materiału podwyższoną temperaturą w porównaniu do innych metod, dlatego następują największe odkształcenia.

Stale spawa się płomieniem normalnym, natomiast do spawania aluminium i stopów lekkich nie wystarcza, jak już było wspomniane, stosowanie płomienia normalnego, a nawet redukującego i trzeba stosować topniki, które ułatwiają stapianie się tlenków na powierzchni części spawanych.

Ciśnienie tlenu przy spawaniu części o grubości do 2 mm powinno wynosić do 2 at.

Przy nagrzewaniu i topnieniu stali powinno się palnik trzymać tak, aby jąderko płomienia leżało przynajmniej 1 mm od roztopionego metalu, a stopów lekkich 3 i 5 mm. Spoiwo należy dodawać do roztopionego już metalu. Nie należy tworzyć dodatkowych jeziorek przez odrywanie palnika. Bardzo ważne jest umiejętne kończenie szwu. Płomień należy powoli podnosić do góry, ciągle podgrzewając materiał, w przypadku stali aż do utraty koloru czerwonego.

Spawania nie rozpoczyna się od samej krawędzi, lecz co najmniej 10÷15 mm od niej. Po zakończeniu nakładania szwu uzupełnia się początek przez spawanie w kierunku do krawędzi, a jeżeli jest podejście — spawa jeszcze drugą stronę szwu w odległości 5÷8 mm.

Przy różnych grubościach łączonych części należy płomieniem bardziej podgrzewać część grubszą.

W konstrukcjach kratowych stosuje się w węzłach często spawanie kilkoma sposobami. Przyjmuje się tutaj regułę, że najpierw następuje spawanie punktowe, potem elektryczne łukowe, a na końcu gazowe acetylenowe.

Specjalnego omówienia wymaga jeszcze spawanie gazowe stali chromowo-manganowo-krzemowej o znaku HGS. Są to stale, które wymagają szczególnie umiejętnego obchodzenia się ze względu na łatwość pękania.

Aby uniknąć pękania, należy stosować odmienną technikę spawania niż przy wszystkich innych stalach cienkościennych, a mianowicie spawać w prawo, a nie w lewo, oraz stosować dodatkowo topnik.

Podczas spawania w prawo płomień obejmuje całą strefę stopiwa i w miarę przesuwania palnika następuje bardzo powolne studzenie przy jednoczesnym osłanianiu złącza od wpływu składników powietrza: tlenu, azotu i wilgoci. Kąt nachylenia palnika równy 20÷30° można powiększyć przy spawaniu grubszych przedmiotów do 40÷50°. Jednocześnie należy lekko poruszać wahliwie spoiwo (drut), aby usunąć ze spoiny pęcherze i zażużlenie. Bardzo ważne jest właściwe zakończenie spoin, polegające na bardzo wolnym studzeniu materiału. Opisany sposób pozwala unikać pęknięć powstających już w czasie samego spawania (na gorąco) w zakresie temperatur 1100÷1350° C po granicach ziaren.

Niezależnie od tego należy stosować dodatkowo topnik. Topnik należy nanosić pędzlem jednolitą cienką warstwą szerokości około 20 mm po obu stronach krawędzi. Po odczekaniu kilku minut można przystąpić do spawania. Topnik nanosi się również na spoiwo. Stosowanie topnika zapobiega pękaniu stali na gorąco w czasie stygnięcia po spawaniu w zahartowanej strefie przejściowej. Unika się wówczas pęknięć poprzez kryształy.

### 5.8.3. Spawanie elektryczne łukowe

Do spawania elektrycznego łukowego zalicza się spawanie elektrodą topliwą i elektrodą nietopliwą.

Spawanie elektrodą topliwą może być prowadzone elektrodą otuloną, łukiem krytym oraz w atmosferze ochronnej (rys. 5-68).

Spawanie elektrodą nietopliwą może być prowadzone elektrodą węglową oraz wolframową w atmosferze ochronnej.

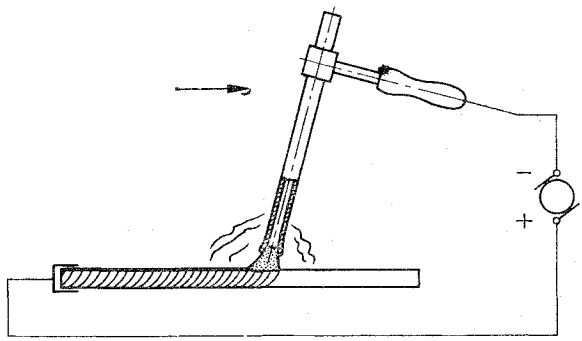
W produkcji szybowców spotyka się spawanie elektrodą topliwą otuloną oraz wyjątkowo elektrodą nietopliwą wolframową w atmosferze ochronnej.

Spawanie łukowe znajduje zastosowanie szczególnie przy łączeniach materiałów o różnych grubościach oraz spawaniu stopów lekkich. Wymaga jednak bardziej skomplikowanej aparatury niż spawanie gazowe.

Metal topi się pod wpływem łuku elektrycznego, tj. silnego wyładowania elektryczności w powietrzu. Źródło prądu połączone jest jednym przewodem (ujemnym) z elektrodą, a drugim (dodatnim) z częścią spawaną za pomocą odpowiedniego zacisku. Temperatura łuku wynosi około 4000° C. Na ciekły metal działa siła ciśnienia gazów oraz pola magnetycznego, dlatego spawać można pod różnymi kątami.

Łuk musi być umiejętnie zajarzony. Wykonuje się to ruchem elektrody, podobnie jak potarcie zapałki. Elektroda służy do utrzymywania łuku oraz stanowi spoiwo.

Elektroda składa się z rdzenia metalowego, który jest pokryty specjalną masą (otuliną). W czasie spawania otulina topi się i wytwarza gazy, które osłaniają roztopiony metal przed wpływem powietrza, oraz żużel, który utrzymuje się na powierzchni stopiwa i oczyszcza je.




*Rys. 5-68. Schemat spawania łukowego elektrodą otuloną*

Jako źródła prądu używa się spawalnice prądu stałego przetwornicowe. Spawalnica składa się z napędowego silnika trójfazowego zasilanego z sieci i prądnicy wytwarzającej prąd stały o napięciu 50÷90 V przy biegu jałowym. Ma ona urządzenie do regulacji natężenia prądu, dobieranego odpowiednio do średnicy elektrody.

Spawalnica wyposażona jest w dwa przewody miedziane izolowane, z których jeden zakończony jest ręcznym uchwytem elektrody, a drugi zaciskiem do części spawanej.

Spawanie łukowe elektrodą otuloną stosuje się do łączenia części o grubości ścianek powyżej 1 mm, jednak najlepiej jest stosować do grubości powyżej 2,5 mm. Temperatura otoczenia podczas spawania nie powinna być niższa niż +5°C.

Części spawane powinny być najpierw sczepione. Warunki sczepiania należy zachować takie same, jak dla sczepiania części spawanych gazowo. Sczepianie przeprowadza się spawaniem łukowym przy użyciu tych samych gatunków elektrod, którymi spawa się daną część. Należy zastosować wyższe natężenie o 20÷30% i nieco mniejsze średnice. Prawidłowy rozstaw sczepin podano w tablicy 5-11.

Sczepianie należy prowadzić łukiem krótkim, nie dłuższym od średnicy rdzenia elektrody. Części powinny być ułożone poziomo do sczepiania. Łuk należy przerywać po wypełnieniu krateru w spoinie, po czym sczepiny oczyścić z żużla.

Do samego procesu spawania stosuje się natężenia prądu podane w tablicy 5-12.

Przy grubościach do 2 mm stosuje się elektrody w cienkich otulinach. Długość łuku powinna odpowiadać średnicy rdzenia elektrody.

Przy spawaniu elektrycznym łukowym proces topnienia metalu trwa bardzo krótko i dlatego obszar materiału objęty podwyższoną temperaturą jest o wiele mniejszy niż przy spawaniu gazowym, stąd odkształcenia są o wiele mniejsze. Spawanie przeprowadza się też dużo szybciej (0,5 do 0,7 m/min).

W technice spawania łukowego stosuje się kilka różnych sposobów

Tablica 5-12

**Warunki spawania elektrycznego łukowego elektrodą otuloną**

| Grubość materiału [mm] | Złącze | | | |
|---|---|---|---|---|
| | czołowe | pachwinowe | zakładkowe | pachwinowe rur |
| | natężenie prądu [A] | | | |
| 1,0÷1,5 | 30÷50 | 40÷70 | 45÷75 | 40÷70 |
| 1,5÷2,0 | 45÷70 | 50÷80 | 55÷85 | 55÷85 |
| 2,0÷2,5 | 60÷90 | 40÷105 | 75÷110 | 70÷110 |
| 2,5÷3,0 | 70÷100 | 80÷120 | 85÷135 | 80÷120 |
| 3,0÷4,0 | 90÷130 | 100÷145 | 105÷150 | 105÷155 |
| 4,0÷5,0 | 115÷160 | 150÷180 | 125÷190 | 140÷190 |
| 5,0÷6,0 | 145÷200 | 160÷225 | 155÷200 | 175÷240 |

prowadzenia elektrody. Wybór odpowiedniego sposobu zależy od grubości łączonych elementów i rodzaju spoiny.

Przy blachach cienkich i elektrodzie z cienką otuliną stosuje się prostoliniowy ruch elektrody. Elektrody z grubą otuliną prowadzi się ruchami prostoliniowo-zwrotnymi w celu uniknięcia porowatości. Przy wielowarstwowym spawaniu należy od drugiej warstwy prowadzić elektrodę ruchami pętlowymi.

W miejscu gdzie wygasa łuk powstaje krater, który jest porowaty i zanieczyszczony tlenkami, powinien więc być starannie przetopiony, aby nie osłabiał spoiny. Spawanie powinno się prowadzić bez przerw, a spoinę zakończać przez wykonanie ruchu powrotnego. Przy stosowaniu elektrod grubo otulonych należy usunąć żużel sposobem mechanicznym.

Ważne jest prawidłowe położenie elektrody i przedmiotu spawanego. Najlepiej jest prowadzić spawanie w położeniu poziomym przedmiotu. Stąd istnieje konieczność stosowania przyrządów obrotowych do spawania łukowego. Przy złączach czołowych elektroda powinna być pochylona do 15° od pionu w płaszczyźnie spawania, a przy złączach pachwinowych i na zakładkę — około 45° od ścianki poziomej przedmiotu spawanego.

Jak podano przy opisie spawania gazowego, w przypadku stosowania kilku rodzajów spawania najpierw stosuje się spawanie łukowe, a później gazowe.

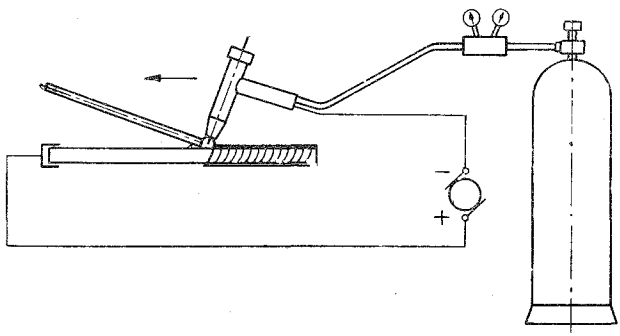
Należy jeszcze omówić specjalnie zagadnienie spawania stali chromowo-manganowo-krzemowej o znaku HGS. Spawanie łukowe tej stali niesie za sobą pękanie po spawaniu. Występuje ono w zahartowanej strefie wpływu ciepła, która jest bardzo mało plastyczna. Pękanie to przebiega przeważnie przez kryształy. Pęknięcie może nastąpić w czasie stygnięcia po przekroczeniu zakresu temperatur 450÷280° lub po całkowitym ostygnięciu. Pękanie powodowane jest spiętrzeniem ciepła i dużą szybkością spawania.

Części ze stali HGS spawane łukowo należy specjalnie chronić przed nagłą zmianą temperatury. Temperatura otoczenia nie może być niższa niż +10°C, części pospawane należy natychmiast wrzucać do piasku lub od razu wyżarzać. Szczególna wrażliwość występuje przy spawaniu małych grubości, do których stosuje się elektrody z cienką otuliną. Następuje wówczas bardzo szybkie studzenie połączenia.

W produkcji szybowców oprócz spawania elektrodą topliwą otuloną znajduje zastosowanie nieraz spawanie elektrodą nietopliwą wolframową w atmosferze ochronnej. Metoda ta ma zastosowanie przy spawaniu stali chromowo-manganowo-krzemowej oraz aluminium i stopów lekkich. Odznacza się cennymi zaletami, a mianowicie:

— topi metal za pomocą łuku, dając dużą koncentrację ciepła i umożliwia bardzo szybkie spawanie;
— daje mały obszar nagrzania, a więc pozwala uniknąć dużych odkształceń spawalniczych;
— ochrania roztopiony metal przed utlenianiem się;
— nie wymaga stosowania topników.

Schemat ręcznego spawania łukowego w atmosferze argonu pokazano na rysunku 5-69. Metal topi się pod wpływem łuku elektrycznego pomiędzy elektrodą wolframową a przedmiotem spawanym. Do palnika z elektrodą doprowadzony jest osobnym przewodem argon z butli mającej reduktor ciśnienia gazu. Wypływa on przez dyszę palnika i osłania całą strefę spawania od wpływu powietrza. Zużycie argonu waha się w granicach 2÷5 l/min.




*Rys. 5-69. Schemat spawania łukowego w atmosferze argonu*

Do spawania stali stosuje się prąd stały (minus na elektrodzie) ze spawalnicy wirującej lub prostownikowej i ewentualnie opornik do uzyskania mniejszych prądów przy spawaniu blach o grubości poniżej 1 mm.

Do spawania aluminium i stopów lekkich wymagany jest prąd zmienny ze spawalnicy transformatorowej i włączenie oscylatora (generatora wysokiej częstotliwości) dla ułatwienia zajarzenia i prowadzenia łuku. Wypływ argonu z dyszy palnika na przedmiot spawany powinien następować chwilę po wyłączeniu prądu, aby jeszcze ochraniać spoinę i rozżarzoną elektrodę wolframową. Dlatego rączka palnika wyposażona jest w urządzenie do automatycznego włączania i wyłączania prądu spawania i przepływu argonu.

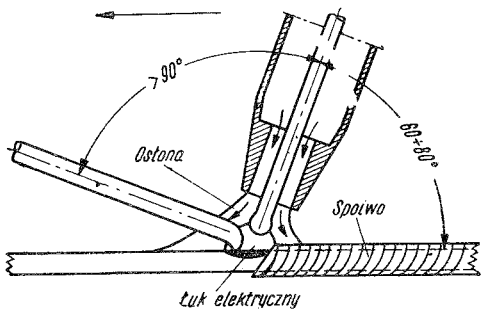
Stale i stopy lekkie do 2 mm grubości spawa się palnikiem bez chłodzenia wodnego. Warunkiem otrzymania dobrego połączenia jest poprawne przygotowanie części.

W odróżnieniu od poprzednich metod spawania nie wymaga się wywijania krawędzi bardzo cienkich blach, odstępu przy blachach do 2 mm oraz ukosowania blach do 3÷4 mm, gdyż głębokie wtopienie uzyskuje się dzięki dużej koncentracji ciepła. Natomiast części powinny być bardzo starannie spasowane ze sobą, a przede wszystkim mieć oczyszczone i od-

tłuszczone krawędzie. Przy spawaniu stopów lekkich wymagane jest usunięcie warstwy tlenków.

Konieczne jest też stosowanie odmiennej techniki spawania. Stosuje się metodę spawania w lewo, tzn. że płomień wyprzedza spoinę i przesuwa się za spoiwem (drutem, rys. 5-70).

Ustawienie palnika jest zbliżone do położenia pionowego, gdyż wypływający gaz ochronny musi jednakowo osłaniać całą powierzchnię spawaną; małe pochylenie pozostawia się po to, aby spawacz mógł obserwować łuk. Z opisanych przyczyn wynika też położenie spoiwa w postaci drutu. Aby nie przerywać osłony gazowej, nie należy w czasie spawania wykonywać żadnych ruchów palnikiem ani drutem.




*Rys. 5-70. Schemat spawania argonowego w lewo*

Łuk powinien być krótki, równy 1,5÷2 mm.

Metoda spawania argonowego łączy w sobie wszystkie dodatnie cechy spawania gazowego i łukowego w odniesieniu do stali HGS, a więc pozwala spawać bardzo cienkie blachy, nie daje dużych odkształceń z powodu skupienia ciepła, pozwala na szybsze prowadzenie procesu, a przy tym pozwala na uniknięcie pęknięć na gorąco i na zimno. Orientacyjne parametry spawania stali HGS podano w tablicy 5-13.

Tablica 5-13

**Orientacyjne parametry spawania argonowego stali HGS**

| Grubość materiału [mm] | Średnica spoiwa [mm] | Średnica elektrody [mm] | Średnica dyszy [mm] | Natężenie prądu stałego [A] | Wydatek argonu [l/min] | Prędkość spawania [cm/min] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,8+0,8 | 1,0 | 1,0 | 5÷7 | 25÷35 | 2÷3 | 15÷20 |
| 1,0+1,0 | 1,0÷1,5 | 1,0÷1,5 | 5÷7 | 30÷60 | 2÷3 | 15÷20 |
| 1,5+1,5 | 1,5÷2,0 | 1,5÷2,0 | 7÷10 | 50÷100 | 3÷5 | 20÷30 |
| 2,0+2,0 | 2,0÷2,5 | 2,0÷2,5 | 7÷10 | 80÷130 | 3÷5 | 18÷25 |

Przy spawaniu aluminium i stopów lekkich konieczne jest stosowanie argonu o niewielkiej ilości zanieczyszczeń, takich jak tlen, para wodna i azot. Wymagany jest argon o czystości co najmniej 99,7%, bez wilgoci i z zawartością max. 0,05% tlenu. Stosowanie argonu zanieczyszczonego powoduje złe stapianie się krawędzi, tworzenie się porowatej spoiny i tworzenie się zażużleń.

Ważny jest też właściwy dobór parametrów samego spawania. Orientacyjne parametry spawania stopów lekkich podano w tablicy 5—14.

W technice spawania najistotniejsze jest umiejętne dodawanie spoiwa. Rozgrzany koniec spoiwa nie powinien wychodzić poza atmosferę ochron-

Tablica 5-14

**Orientacyjne parametry spawania argonowego stopów lekkich**

| Grubość materiału [mm] | Średnica spoiwa [mm] | Średnica elektrody [mm] | Średnica dyszy [mm] | Natężenie prądu stałego [A] | Wydatek argonu [l/min] | Prędkość spawania [cm/min] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,5 | 2 | 1,5 | 6 | 70÷80 | 3÷4 | 24÷28 |
| 2,0 | 2,5 | 2 | 9 | 85÷100 | 6÷7 | 22÷26 |
| 3,0 | 3 | 3 | 12 | 140÷160 | 8÷10 | 18÷22 |

ną, gdyż powodowałoby to jego utlenianie.

Metoda spawania argonowego nadaje się do spawania aluminium, stopów aluminium-magnez, durali i stopów magnezowych.

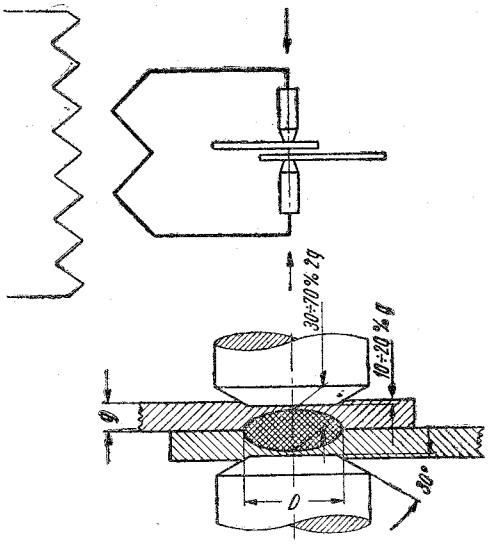
### 5.8.4. Zgrzewanie elektryczne oporowe

W zgrzewaniu elektrycznym oporowym proces łączenia polega na ścisku, a nie na topnieniu, jak w spawaniu gazowym i łukowym.

Znane są następujące metody zgrzewania oporowego: zgrzewanie punktowe, garbowe, liniowe i doczołowe. Metody te różnią się między sobą sposobem ukształtowania złącza.

W produkcji szybowców stosuje się zgrzewanie punktowe (rys. 5-71).

Źródłem prądu zgrzewania jest transformator przeważnie jednofazowy z nastawnikiem napięcia w obwodzie pierwotnym o mocy od 8 do 100 kVA zależnie od grubości zgrzewanych części. W obwodzie wtórnym znajdują się dwie elektrody miedziane, pomiędzy które wkłada się części zgrzewane. Górna elektroda jest ruchoma i nią wywiera się potrzebny nacisk. Elektrody umieszcza się w bardzo sztywnych wysięgnikach i chłodzi się wodą.




*Rys. 5-71. Schemat zgrzewania punktowego*

Poprawność zgrzeiny zależy od trzech parametrów:

— natężenia prądu zgrzewania,
— czasu jego przepływu,
— siły docisku.

Parametry te dobiera się zależnie od jakości materiału, grubości łączonych materiałów i stanu powierzchni.

W zależności od rodzaju materiału i grubości zgrzewanych części natężenie prądu waha się od 4000 do 40 000 A i wyżej.

Prawidłowa zgrzeina ma lekkie wklęśnięcie, o głębokości 10÷20% grubości blachy. Średnicę zgrzeiny punktowej określa się ze wzoru:

$$D = 5\sqrt{g} \quad [\text{mm}] \qquad (5\text{-}6$$

gdzie:

$D$ — średnica powierzchni styku,

$g$ — grubość blachy.

Zgrzewanie oporowe nadaje się do łączenia stali węglowych i stopowych oraz do aluminium i stopów lekkich; zgrzewanie aluminium i stopów lekkich wymaga jednak specjalnego omówienia. Główną zaletą zgrzewania jest bardzo małe nagrzewanie miejsc łączonych, a przez to brak odkształceń spawalniczych i zachowanie prawidłowej struktury metalograficznej łączonych przedmiotów, a więc nieznaczne tylko zmienianie wytrzymałości połączenia.

Ważna jest możliwość łączenia różnych gatunków stali oraz przedmiotów w różnej postaci, np. blach z częściami obrabianymi wiórowo itp.

Proces zgrzewania wymaga starannego przygotowania zgrzewarki i części łączonych.

Powierzchnie styku elektrod powinny być starannie oczyszczone płótnem ściernym; nie mogą mieć ubytków. Powinien być zapewniony właściwy kontakt elektrod w uchwytach, ewentualnie należy usunąć przez zeszlifowanie powstałe tlenki. Prąd zgrzewania należy włączać dopiero po otrzymaniu właściwego docisku na elektrodach i wyłączać przed zwolnieniem docisku.

Powierzchnie łączonych części należy na całej szerokości łączenia oczyścić do surowego metalu, najlepiej papierem ściernym, lub wypiaskować po obróbce cieplnej. Powierzchnie muszą być gładkie i dobrze przylegać do siebie. Zgrzewać można części przed i po końcowej obróbce cieplnej.

Przed właściwym zgrzewaniem przedmioty sczepia się przy zachowaniu tych samych parametrów, jakie zastosuje się później.

Z pierwszych zgrzein powinno się zrobić próby technologiczne pozwalające określić jakość zgrzewania. W tym celu zgrzewa się z sobą przygotowane oddzielnie paski blach o tych samych gatunkach i grubościach, jak część konstrukcyjna, stosując różne parametry zgrzewania i poddając następnie próbie na rozciąganie przez wyłuskiwanie.

Orientacyjne parametry zgrzewania stali podano w tablicy 5-15. Z przytoczonych danych w tablicy wynika, że stal chromowo-manganowo-krzemowa wymaga mniejszego natężenia prądu przy dłuższym czasie zgrzewania i mniejszej sile docisku niż stal węglowa.

Rozstaw poszczególnych punktów zgrzewania podaje dokumentacja konstrukcyjna. Przy zgrzewaniu długich odcinków wiotkich elementów często powstają wypaczenia. Aby tego uniknąć, należy po sczepieniu rozpoczynać właściwe zgrzewanie od środka na zewnątrz.

Przy stosowaniu różnych sposobów spawania najpierw wykonuje się zgrzewanie, później spawanie łukowe, a na końcu spawanie gazowe.

Zgrzewanie elektryczne oporowe aluminium i stopów lekkich wymaga przede wszystkim bardzo starannego przygotowania powierzchni. Odnosi się to zarówno do czystości, jak i dokładnego przylegania, gdyż te czynniki wpływają decydująco na wielkość oporu elektrycznego styku; opór ten powinien być jednakowy przy wszystkich zgrzeinach.

Aluminium i jego stopy pokrywają się na powietrzu twardą, mocno przyczepną warstwą tlenków, które mają duży opór elektryczny. Warstwy

Tablica 5-15

Orientacyjne parametry zgrzewania stali

| Grubość zgrzewanych materiałów [mm] | Średnica zgrzeiny [mm] | Natężenie prądu [A] | Czas zgrzewania [sek] | Siła docisku [kG] | Minimalna siła ścinająca [kG/zgrzeinę] | Nominalna moc zgrzewarki [KVA] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stale węglowe 10 i 20 | | | | | | |
| 0,5+0,5 | 3,5÷4,0 | 3500÷5000 | 0,08÷0,3 | 40÷50 | 145 | 8÷16 |
| 1,0+1,0 | 5,0÷6,0 | 6000÷8000 | 0,2÷0,5 | 80÷90 | 400 | 16÷25 |
| 1,5+1,5 | 6,0÷7,0 | 7000÷9000 | 0,3÷0,7 | 140÷160 | 800 | 25÷40 |
| 2,0+2,0 | 7,0÷9,0 | 8000÷10 000 | 0,4÷0,9 | 250÷280 | 1100 | 40÷75 |
| 3,0+3,0 | 9,0÷10,0 | 12 000÷16 000 | 0,8÷1,5 | 500÷550 | 1900 | 50÷100 |
| Stale stopowe 25 HM i 30 HGS | | | | | | |
| 0,5+0,5 | 3,5÷4,0 | 2500÷4000 | 0,5÷0,7 | 30÷40 | 170 | 8÷16 |
| 1,0+1,0 | 5,0÷6,0 | 4000÷6000 | 0,8÷1,2 | 70÷80 | 480 | 16÷25 |
| 1,5+1,5 | 6,0÷7,0 | 5000÷7000 | 1,0÷1,5 | 120÷140 | 900 | 25÷40 |
| 2,0+2,0 | 7,0÷9,0 | 6000÷8000 | 1,4÷2,0 | 190÷220 | 1300 | 40÷75 |
| 3,0+3,0 | 9,0÷10,0 | 9000÷12 000 | 1,5÷2,5 | 380÷420 | 2000 | 50÷100 |

tlenków można usuwać mechanicznie drobnoziarnistym papierem ściernym po odtłuszczeniu powierzchni lub szczotką drucianą lub przez trawienie, np. w kwasie siarkowo-azotowym w temperaturze 85°C po uprzednim odtłuszczeniu w parach tri i w ługu. Należy oczyszczać zarówno zewnętrzne, jak i wewnętrzne powierzchnie zgrzewane.

Nie jest możliwe dokładne usunięcie warstwy tlenków z powierzchni, poza tym oczyszczone przedmioty w czasie oczekiwania na zgrzewanie mogą pokryć ponownie tlenki, dlatego wymagane jest tylko doprowadzenie stanu powierzchni do odpowiedniej oporności, mierzonej w mikroomach.

Do zgrzewania aluminium i stopów lekkich konieczne jest urządzenie o znacznie większej mocy z aparaturą elektronową, pozwalającą na zachowanie pełnego programu zgrzewania. Wymagane jest bardzo szybkie i dokładne prowadzenie procesu w zakresie wielkości prądu zgrzewania, czasu jego przepływu oraz siły docisku elektrod. Jest to konieczne ze względu na specyficzne własności metalu zgrzewanego. Ma on parokrotnie większą przewodność cieplną niż stal, podobnie też przewodność elektryczną oraz wyższe ciepło topnienia, a więc stwarza mały opór i szybko odprowadza ciepło.

Program zgrzewania obejmuje: docisk wstępny za pomocą elektrod, włączenie prądu zgrzewania, silne nagrzanie wnętrza miejsca łączonego — przy zmniejszonym docisku — aż do stopnienia przy zachowaniu warstw zewnętrznych w stanie miękkim, wyłączenie prądu zgrzewania i zastosowanie dodatkowego docisku elektrod (przekucie) w celu zachowania stałego ciśnienia w jądrze zgrzeiny. Wielkości docisków i prąd ustala się doświadczalnie na próbkach technologicznych.

Orientacyjne parametry zgrzewania duralu podano w tablicy 5-16.

Tablica 5-16

**Orientacyjne parametry zgrzewania duralu**

| Grubość zgrzewanego materiału [mm] | Średnica zgrzeiny [mm] | Natężenie prądu [A] | Czas zgrzewania [sek] | Siła docisku [kG] | Min. siła ścinająca [kG/zgrzeinę] |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,4 | 2,3 | 14 000÷18 000 | 0,06÷0,08 | 100÷150 | 50 |
| 0,6 | 3,0 | 17 000÷20 000 | 0,08÷0,10 | 150÷200 | 90 |
| 0,8 | 3,5 | 21 000÷30 000 | 0,10÷0,12 | 200÷250 | 135 |

Warto dodać, że wartość natężenia prądu w przypadku zgrzewania materiału o grubości 3 mm wynosi 85 000 A, a moc zgrzewarki wynosząca przy materiale o grubości 0,8 mm — 75 kVA, przy materiale o grubości 2,5 mm osiąga 400 kVA.

Części przewidziane do zgrzewania punktowego nie powinny być przed zgrzewaniem anodowane, gdyż wytworzona warstwa tlenków uniemożliwia dokonanie złączenia. Stosuje się tu proces chemiczny, tzw. alodynowanie, polegający na odtłuszczeniu powierzchni, zanurzeniu w kwaśnych kąpielach i w rozcieńczonym roztworze kwasu azotowego oraz wysuszeniu. Stwierdzono, że przy dobrym spasowaniu powierzchni zgrzewanych powierzchnia nie ulega korozji od resztek niewypłukanych kwasów.

W razie braku odpowiedniego wyposażenia do zabiegów chemicznych stosuje się zabezpieczenie sposobami malarskimi.

### 5.8.5. Kontrola spawania

Opisane procesy łączenia metali metodą spawania wymagają bardzo dokładnej kontroli. Kontroli podlegają poszczególne fazy prac spawalniczych.

Spawacze zatrudnieni przy pracach spawalniczych są poddawani okresowym egzaminom polegającym na wykonaniu próbek na rozciąganie płaskich złączy spawanych i zgrzewanych, próbek na rozciąganie okrągłych złączy spawanych, próbek płaskich i węzła spawanego do badań metalograficznych i twardości, próbek technologicznych łamania spawanego złącza kątowego i na wyłuskiwanie złącz zgrzewanych (opis wymienionych prób — patrz str. 102).

Kontroli poddaje się również materiały stosowane do spawania. Należy zwrócić uwagę na gatunek materiału, z którego jest wykonana część przeznaczona do spawania oraz materiału pomocniczego, jak drutu, elektrody i topnika.

Przed spawaniem należy sprawdzić przygotowanie części do spawania. Zasadniczym warunkiem jest tu czystość powierzchni, a także wzajemne dopasowanie do siebie poszczególnych krawędzi oraz wymiary odstępów lub ukosowań. W ramach przygotowania części do spawania sprawdza się również odległości sczepin oraz jakość sczepiania.

W procesie spawania gazowego sprawdza się poprawność nastawienia płomienia, naniesienie topnika oraz ruch palnika. Przy spawaniu elektrycznym sprawdza się natężenie prądu oraz ruch elektrody. Przy zgrze-

waniu elektrycznym oporowym kontroli podlegają wszystkie parametry, a więc natężenie prądu, czas przepływu prądu oraz siła docisku.

Po wykonaniu spawania sprawdza się jakość złącz spawanych.

*Kontrola jakości złącz spawanych.* Do najczęściej spotykanych wad złącz spawanych zalicza się nieciągłości metalu spoiny i złącza, porowatość i zażużlenie, utworzenie jam i pęcherzy, niezatopione kratery oraz pęknięcia i przepalenia.

Oprócz wymienionych występuje wiele nieprawidłowości geometrii przekroju spoiny i dwóch części spawanych. Do nich zalicza się:

— niedostateczną grubość spoiny,
— zbyt grubą spoinę,
— brak przetopu,
— wyciek w grani (zbyt duży przetop),
— rozlanie spoiny,
— złącze z nawisem,
— podtopienie na brzegach lica.

Części spawane dzieli się ze względu na charakter pracy złącza na części odpowiedzialne i mniej odpowiedzialne. Podziału dokonuje konstruktor w dokumentacji rysunkowej.

Do złącz odpowiedzialnych zalicza się złącza pracujące w ciężkich warunkach, tzn. pod dużymi obciążeniami statycznymi i dynamicznymi, lub położone w miejscach o wysokiej koncentracji naprężeń. Do tej kategorii złącz zalicza się również złącza pracujące pod wysokim ciśnieniem gazów lub cieczy i w wysokich temperaturach.

Zależnie od rodzaju odpowiedzialności części, ustalone są kryteria dopuszczalnych wad spawalniczych. Dopuszczalne wady zestawiono w tablicy 5—17.

Wszystkie poprawki spoin należy wykonywać przed obróbką cieplną. Części zakwalifikowane do poprawy uzupełnia się dodatkowym spawaniem lub poprawia się za pomocą obróbki mechanicznej.

Głównym celem naprawy części spawanych jest zapewnienie jednakowej struktury połączenia i jego wymiarów geometrycznych oraz spełnienie warunku, aby spoina łagodnie przechodziła w materiał łączony bez gwałtownych zmian przekroju i karbów.

Jeżeli wadę wykryje się na części pokrytej powłoką ochronną sposobem galwanicznym lub przez malowanie, należy przed powtórnym spawaniem część oczyścić. Pokrycia galwaniczne trzeba usunąć piaskowaniem lub sposobem galwanicznym, a pokrycia lakiernicze — usunąć mechanicznie lub rozpuszczalnikiem.

Porowatość i zażużlenie, tworzenie się jam i pęcherzy oraz pęknięcia są wynikiem stosowania złych drutów, elektrod lub topników, niedokładnego oczyszczenia powierzchni spawanych albo też niewłaściwej techniki spawania.

Pęknięcia mogą powstać również z powodu dużej zawartości siarki w materiale spawanym lub materiale dodawanym (rys. 5-72).

Przepalenia złącza spawanego spowodowane są złą techniką spawania.

Niezatopione kratery powstają najczęściej na końcu złącz spawanych z powodu szybkiego oderwania łuku od płynnego stopiwa.

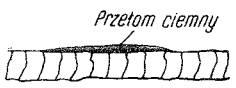
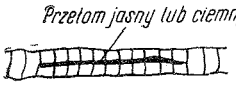
Naprawa złącz porowatych i zażużlonych, mających jamy i pęcherze oraz złącz popękanych polega na usunięciu miejsc wadliwych ze spoiny przez wiercenie i wycinanie oraz powtórne zaspawanie.

Niezatopione kratery poprawia się przez podspawanie. Często występujące pęknięcia w kraterach usuwa się również przez powtórne zaspawanie.

Tablica 5-17

**Dopuszczalne wady spawalnicze**

| Rodzaj wady | Miernik wielkości wady | Dopuszczalna ilość wad bez poprawiania | | Dopuszczalna ilość wad do poprawiania | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | przed ostateczną obróbką cieplną lub w złączach bez obróbki cieplnej | | po ostatecznej obróbce cieplnej | |
| | | złącza | | | | | |
| | | odpowiedzialne | mniej odpowiedzialne | odpowiedzialne | mniej odpowiedzialne | odpowiedzialne | mniej odpowiedzialne |
| Porowatość i zażużlenie (blachy do 4 mm) | Ogólna powierzchnia wad na odcinku 100 mm ($mm^2$)<br>Powierzchnia pojedynczej wady ($mm^2$) | 12<br>3 | 20<br>2 | 30<br>10 | 50<br>dowolna | bez<br>bez | bez<br>bez |
| Pęknięcia poprzeczne | Ilość pęknięć na odcinku złącza o długości 100 mm | bez | bez | 1 | 2 | bez | 1 |
| Pęknięcia wzdłużne | Stosunek długości pęknięcia do ogólnej długości spoiny | bez | bez | 10% | długość dowolna | bez | 5% |
| Brak przetopu | Stosunek długości odcinka spoiny z brakiem przetopu do długości całego złącza | bez | 10% przy $h < 0{,}25$ | 10% | długość dowolna | bez | 5% |
| Wyciek w grani | Stosunek długości odcinka spoiny ze zbyt dużym wyciekiem do długości całego złącza | bez | 10% | dla blach:<br>1,5 mm dop. przetop — — 1,5 mm<br>1,5 do 2,5 mm dop. przetop — —1,5 mm<br>2,5 mm dop. przetop — bez | | | |
| Spoina rozlana | Stosunek długości odcinka spoiny z rozlewem do długości całego złącza | bez | dopuszcza się, lecz nie na końcach | długość dowolna przy poprawie obróbką mechaniczną | | | |
| Złącze z nawisem | Stosunek długości odcinka złącza z nawisem do długości całego złącza | | | | | | |
| Podtopienia na brzegach lica | Stosunek długości podtopienia do długości całego złącza | bez | 20% | dla blach do 2 mm — — bez<br>ponad 2 mm: 20% / 30% | | bez | bez |
| Niezatopione kratery | Liczba kraterów na odcinku złącza o długości 100 mm | bez | bez | 2 | dowolna | bez | 2 |

| | |
|---|---|
|  | Pęknięcie w strefie wpływu ciepła (na gorąco)<br>— powstaje przy spawaniu stali o niewielkiej grubości (do 3 mm) wrażliwej na wysokie temperatury |
|  | Pęknięcie wzdłużne (na gorąco)<br>— powstaje przy złym spoiwie lub<br>— powstaje przy nieprawidłowym spawaniu |
| | Pęknięcie poprzeczne (na gorąco)<br>— powstaje przy nadmiarze siarki lub<br>— powstaje przy nieprawidłowym spawaniu |
| | Pęknięcie w kraterze (na gorąco)<br>— powstaje przy nadmiarze siarki lub<br>— powstaje przy nieprawidłowym spawaniu |
| | Pęknięcie przechodzące od strony wpływu ciepła do spoiny (na zimno)<br>— powstaje przy spawaniu łukowym stali niskostopowej, o dużym przekroju<br>— powstaje w miejscach podhartowania metalu w strefie przejściowej<br>— powstaje przy nieprawidłowo dobranym spoiwie<br>— powstaje przy nieprawidłowym spawaniu |

*Rys. 5-72. Typowe pęknięcia spoin*

Ze względu na możliwość działania karbu, zakończenie szwu powinno być wygładzone mechanicznie.

Dopuszczalne liczby wad nadających się do zaspawania na jednostkę długości zależą od powierzchni wad. Przepalenia usuwa się przez zaspawanie.

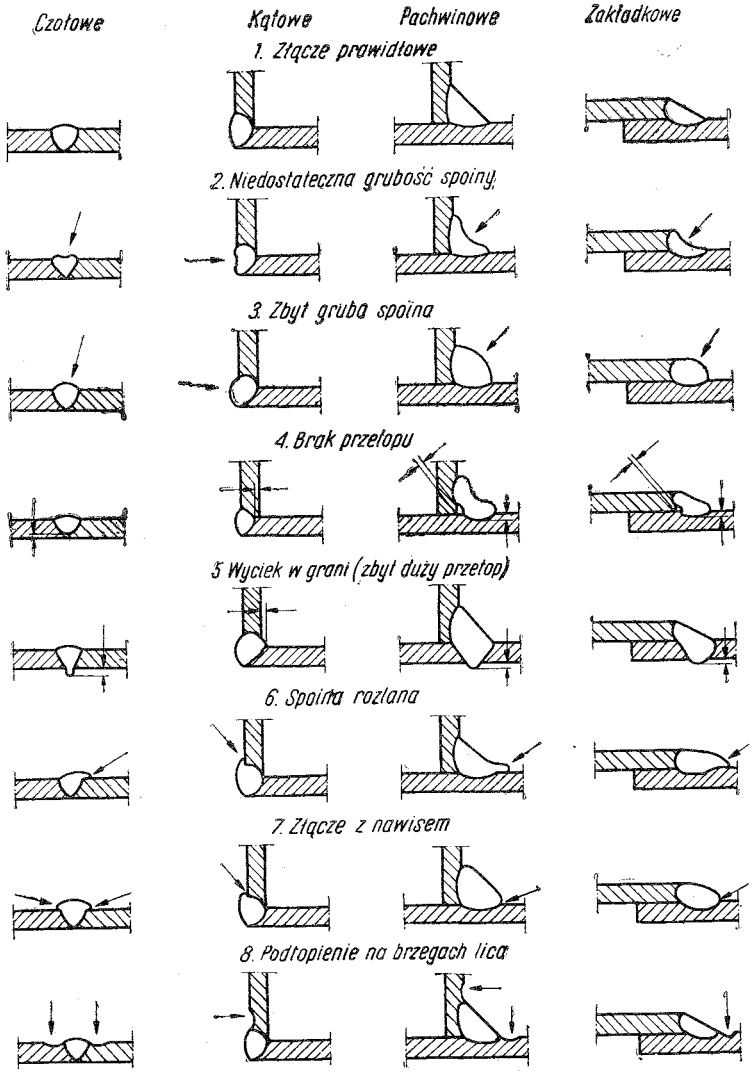
Nieprawidłowości geometrii przekroju spoiny spowodowane są przeważnie złym spawaniem.

Na rysunku 5-73 zestawiono typowe wady w złączach czołowych, kątowych, pachwinowych i zakładkowych. Zasadniczym błędem spawania jest brak przetopu (*4*). Wada ta jest widoczna po drugiej stronie złącza czołowego i kątowego w postaci niedospawań. Natomiast w złączach pachwinowych i zakładkowych brak przetopu charakteryzuje słabe przeniknięcie spoiny do części łączonych oraz pozostawienie miejsc nieprzetopionych pod spoiną. Przeciwnym zjawiskiem do braku przetopu jest wyciek w grani (*5*) lub inaczej za duży przetop. W złączach czołowych i kątowych wada ta jest widoczna po przeciwnej stronie części łączonych. W złączach pachwinowych i zakładkowych spoina przechodzi na drugą stronę części łączonej na wylot.

Innym typem wad spawania pokazanym na rysunku 5-73 jest spoina rozlana (*6*), która może powstać również z powodu złego położenia wyrobu w czasie spawania, oraz złącza z nawisem (*7*) obustronnym. Pod tymi spoinami może być niewidoczny brak przetopu. Charakterystyczną wadą jest również podtopienie na brzegach lica (*8*). Oprócz dobrania niewłaściwych parametrów lub samego procesu spawania przyczyną może

być nieprawidłowe położenie wyrobu w czasie spawania. Ten typ wady spawania osłabia łączone ścianki.

Poprawienie złącz w połączeniach czołowych, kątowych, pachwinowych i zakładkowych polega na usunięciu nadmiaru materiału sposobem mechanicznym przez piłowanie lub frezowanie. W przypadku braku przetopu należy usunąć całą nałożoną spoinę przez wiercenie i frezowanie oraz powtórnie spawać.




*Rys. 5-73. Zestaw typowych wad w złączach*

Podtopienia na brzegach lica blach cienkich do 1,5 mm nie da się naprawić, na grubszych blachach można ubytki podspawać.

Kontrolę złącz spawanych można przeprowadzać różnymi metodami. Do metod nieniszczących zalicza się: oględziny zewnętrzne, trawienie

i naftowanie, penetrację, kontrolę magnetyczną, radiologiczną i ultradźwiękową. Metody te opisano w rozdziale 5.3.

W przypadku złącz pracujących pod ciśnieniem stosuje się kontrolę szczelności.

Do metod niszczących należą badania własności mechanicznych, badania metalograficzne oraz próby technologiczne i badania twardości.

Za pomocą oględzin zewnętrznych można wykryć następujące wady:
— porowatość i zażużlenie,
— powierzchniowe jamy i pęcherze,
— niezatopione kratery,
— pęknięcia i przepalenia,
— niedostateczną grubość spoiny,
— zbyt grubą spoinę,
— brak przetopu,
— wyciek w grani (zbyt duży przetop),
— rozlanie spoiny,
— złącze z nawisem,
— podtopienia na brzegach lica.

Oględzinom zewnętrznym podaje się 100% wyrobów spawanych. Za pomocą trawienia, naftowania i penetracji wykrywa się rysy, pęknięcia zewnętrzne lub wewnętrzne mające połączenia z powierzchnią. Należy zaznaczyć, że trawienie nadaje się jedynie do badania stali.

Kontrola magnetyczna ma zastosowanie jedynie przy badaniu doczołowych złącz stali magnetycznych obrobionych mechanicznie. Pozwala ona wykryć następujące wady:
— porowatość i zażużlenie,
— brak przetopu,
— pęknięcia,
— podtopienia i spoinę rozlaną.

Kontrolą radiologiczną wykrywa się następujące wady:
— porowatość i zażużlenie,
— jamy i pęcherze,
— pęknięcia,
— brak przetopu,
— wyciek w grani (zbyt duży przetop).

Kontroli radiologicznej poddaje się 100% odpowiedzialnych wyrobów spawanych.

Metodą ultradźwiękową można wykryć wady struktury wewnętrznej materiału, jak pęknięcia, pęcherze i wtrącenia niemetaliczne.

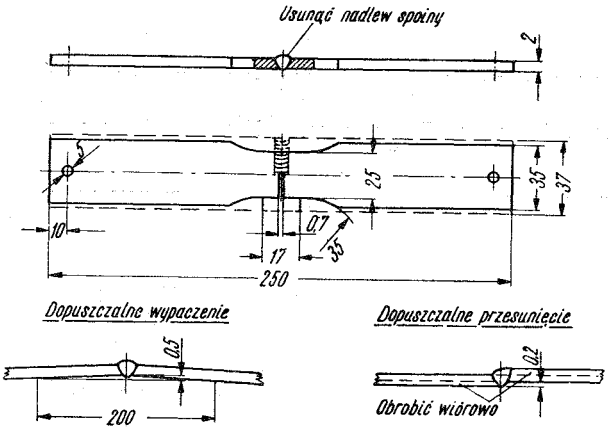
Szczelność złącz bada się przy użyciu nafty, amoniaku, sprężonego powietrza lub cieczy pod ciśnieniem (przeważnie równym dwukrotnemu ciśnieniu roboczemu), w zależności od warunków pracy złącza.

Metody niszczące są rzadko stosowane w czasie bieżącej produkcji. Stosuje się je przy okresowej weryfikacji spawaczy lub w przypadku wprowadzania do spawania nowych gatunków spoiw, elektrod, topników i materiałów spawanych, lub ustalania parametrów spawania.

Własności mechaniczne bada się na próbkach pobranych z badanego złącza albo ze specjalnych złącz wykonanych w tych samych warunkach co złącze badane.

Próbę na rozciąganie płaskich złącz spawanych doczołowo ustala norma PN-64/M-69710 (rys. 5-74). Do badań przedstawia się trzy próbki spawane. W przypadku wyniku negatywnego na jednej próbce, zastępuje

się ją dwiema nowymi próbkami. Stąd też dogodnie jest wykonać od razu pięć sztuk próbek. Najpierw przycina się z blachy dwa prostokąty, z których po zespawaniu wycina się pięć próbek.




*Rys. 5-74. Próbka na rozciąganie płaskiego złącza spawanego*

Blachy po oczyszczeniu i znakowaniu sczepia się gazowo sczepinami o długości około 10 mm, odległymi od siebie o około 60 mm. Następnie spawa się gazowo oba prostokąty jednym przejściem. Po spawaniu przeprowadza się obróbkę cieplną polegającą na wyżarzeniu zmiękczającym w wiórkach żeliwnych lub stalowych. Po ostudzeniu blachy prostuje się na zimno i wycina kolejne paski złącz próbnych. Po wywierceniu otworów technologicznych do hartowania, paski obrabia się cieplnie przez hartowanie i odpuszczanie. Po prostowaniu szlifuje się nadlewy spoiny do powierzchni materiału pozostawiając ewentualne podtopienia na brzegach lica i braki przetopu od strony grani oraz frezuje boki paska, aby uzyskać przewężenie przekroju. Następnie poddaje się próbki rozciąganiu zgodnie z normą PN-62/H-04310. Po zerwaniu przeprowadza się oględziny zewnętrzne.

Wytrzymałość na rozciąganie oblicza się ze wzoru:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \qquad [\mathrm{kG/mm^2}] \qquad (5\text{-}7)$$

gdzie:

$F_m$ — największa siła obciążająca uzyskana w czasie próby [kG],

$S_0 = a_0 \cdot b_0$ — pierwotny poprzeczny przekrój próbki [mm²].

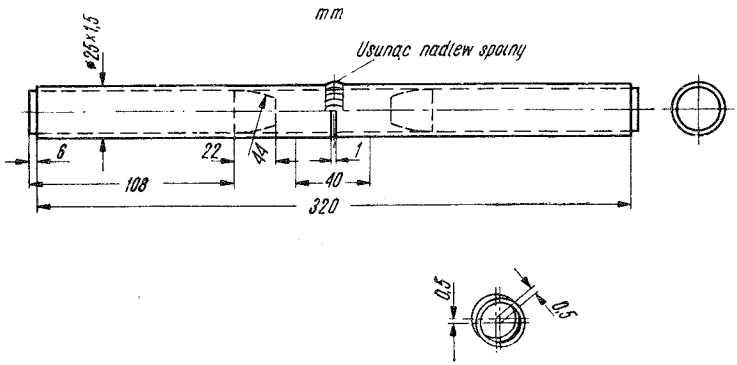
Wytrzymałość na rozciąganie próbki spawanej może być o 10% niższa od wytrzymałości próbki z tego samego materiału i jednocześnie obrabianej cieplnie z próbką spawaną (tzw. próbka-świadek).

Próbę na rozciąganie okrągłych złącz spawanych ustala norma PN-64/M-69713 (rys. 5-75).

Do badań przedstawia się dwie próbki spawane. W przypadku wyniku negatywnego na jednej próbce zastępuje się ją dwiema nowymi próbkami.

Zależnie od rodzaju badanego fragmentu konstrukcyjnego przeprowadza się próbę spawania w pozycji pionowej lub poziomej. W pozycji pio-

nowej spoina powinna być nie niżej od poziomu oczu, zaś w pozycji poziomej próbkę nie należy obracać, lecz spawać dwustronnie, zaczynając od najniższego punktu.



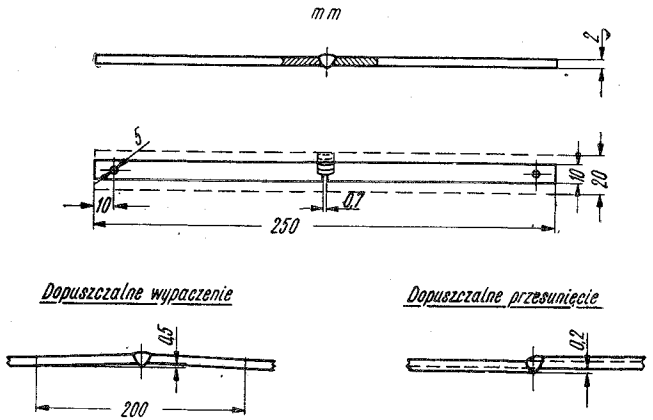

*Rys. 5-75. Próbka na rozciąganie okrągłego złącza spawanego*

Podobnie jak przy próbkach płaskich, rurki po przecięciu sczepia się gazowo na obwodzie, spawa gazowo, wyżarza zmiękczająco, hartuje i odpuszcza oraz przetacza nadlew spoiny.

Przed założeniem próbek do zrywarki zakłada się do obu końców znormalizowane trzpienie zapobiegające zgnieceniu się końców w czasie zrywania. Próbki poddaje się rozciąganiu zgodnie z normą PN-62/H-04310. Po zerwaniu przeprowadza się oględziny zewnętrzne. Wytrzymałość na rozciąganie oblicza się według wzoru (5-7).

Wytrzymałość na rozciąganie próbki spawanej może być o 10% niższa od wytrzymałości próbki-świadka.

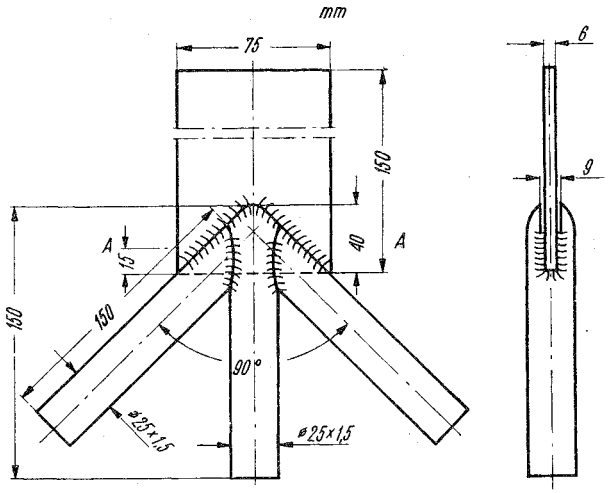
Badania metalograficzne obejmują obserwację makro- oraz mikroskopową. Badania makroskopowe przeprowadza się okiem nieuzbrojonym lub przy użyciu szkła powiększającego do 30 razy. Badania mikroskopowe przeprowadza się za pomocą mikroskopów metalograficznych pod powiększeniem nie mniejszym jak 100 razy. Badania przeprowadza się na próbkach nietrawionych i trawionych. Kontroli poddaje się próbki wycięte lub specjalnie przygotowane. Do rozwiązań stosowanych w konstrukcjach




*Rys. 5-76. Próbka złącza doczołowego do badania metalograficznego*

szybowcowych typowe są dwa rodzaje próbek: złącze doczołowe ujęte normą PN-62/M-69707 (rys. 5-76) oraz węzeł spawalniczy (rys. 5-77).

Złącze doczołowe najlepiej jest wykonać razem ze złączami płaskimi przeznaczonymi do próby na rozciąganie. Na dwóch blachach prostokątnych przeznaczonych do spawania wystarczy przewidzieć pasek, z którego wykona się próbkę do badań metalograficznych. Po zastosowaniu obróbki skrawaniem wykonuje się zgład.




*Rys. 5-77. Próbka węzła spawalniczego do badania metalograficznego*

Węzeł spawalniczy najpierw sczepia się gazowo szczepinami o długości około 10 mm, następnie spawa się elektrycznie rurki z blachą, a później wykańcza gazowo. Po spawaniu całość węzła wyżarza się zmiękczająco w wiórkach żeliwnych lub stalowych. Następnie węzeł rozcina się jak na rysunku 5-77 i wykonuje się zgład w celu określenia wtopienia. Wystarczy wtopienie 25÷40%.

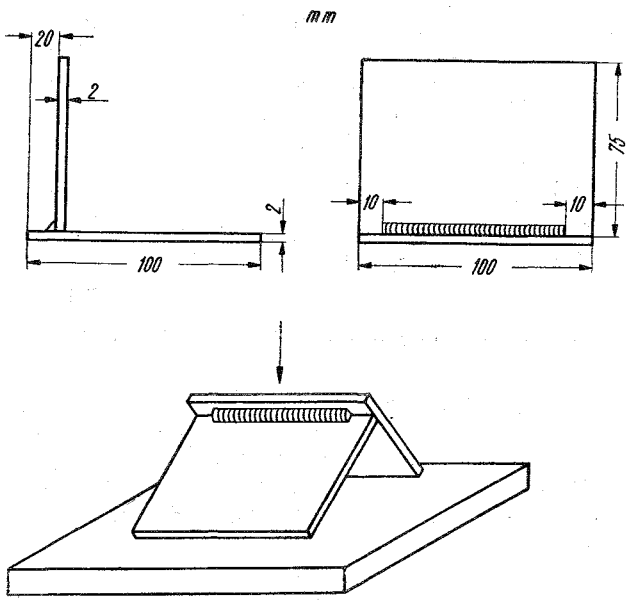
Próbki wygładza się papierami ściernymi przy stosowaniu kilku ziarnistości. Przed przejściem z grubszej ziarnistości na drobniejszą, próbkę należy dokładnie wypłukać w wodzie.

Szlifowanie próbek wystarcza do badań makroskopowych, zaś do badań mikroskopowych próbki muszą być polerowane. Stosuje się polerowanie mechaniczne na tarczach pokrytych suknem lub filcem lub elektrolityczne. Do większości badań próbki trawi się odpowiednimi odczynnikami, np. 50-procentowym roztworem kwasu solnego w temperaturze 80°C.

Badania makroskopowe umożliwiają wykrycie następujących wad:
— porowatość i zażużlenie,
— pęknięcia,
— niedostateczną grubość spoiny,
— zbyt grubą spoinę,
— brak przetopu,
— wyciek w grani,
— rozlanie spoiny,
— złącze z nawisem,
— podtopienia na brzegach lica.

Badania mikroskopowe złącz spawanych służą do oceny struktury spoiny i materiału rodzimego, zasięgu i struktury strefy wpływu ciepła oraz wykrycia wad strukturalnych, takich jak: porowatość i zażużlenie, utworzenie jam i pęcherzy, mikropęknięcia oraz wtrącenia niemetaliczne.

Zamiast badań metalograficznych można zastosować wzrokowe oględziny przełomu spoiny na specjalnej próbce technologicznej. Próbę łamania złącza kątowego ze spoiną pachwinową ustala norma PN-58/M-69741. Przycięte blachy sczepia się gazowo sczepinami o długości około 10 mm odległymi od siebie około 50 mm. Następnie spawa się gazowo oba prostokąty, a potem wyżarza zmiękczająco w wiórkach żeliwnych lub stalowych. Blach nie należy prostować. Próbę łamania przeprowadza się na dwóch jednakowych próbkach. Próbkę należy ustawić jak pokazano na rysunku 5-78, a następnie rozgiąć oba ramiona aż do złamania próbki.




*Rys. 5-78. Próba łamania złącza kątowego*

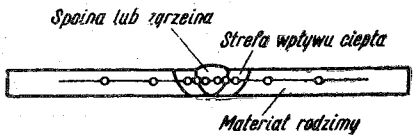
Przełom powstały po złamaniu próbki należy poddać oględzinom zewnętrznym przez szkło powiększające.

Próbka technologiczna pozwala wykryć:
— porowatość,
— jamy i pęcherze,
— pęknięcia,
— wtrącenia niemetaliczne,
— brak przetopu.

Próbę twardości złącz spawanych i zgrzewanych ustala norma PN-64/M-69751. Próbę wykonuje się w celu ustalenia twardości złącza w spoiwie lub zgrzeinie, w strefach wpływu ciepła oraz w materiale rodzimym. W przypadku cienkich blach do 3 mm, zaleca się prowadzić badanie na zewnętrznej stronie próbki, w przypadku grubszych blach szlifuje się i wygładza, a następnie trawi jedną z bocznych powierzchni

próbki. Obróbka wiórowa nie powinna spowodować zmian twardości metalu. Długość próbki spawanej powinna obejmować całą szerokość spoiny i co najmniej po 25 mm z każdej strony spoiny.

Na blachach do 5 mm grubości nanosi się jedną linię pomiarową, a na niej wyznacza punkty pomiarowe. Wyjściowym punktem pomiarowym jest przecięcie się linii pomiarowej z linią wtopienia. W strefie wpływu ciepła oraz w materiale rodzimym powinny być co najmniej dwa punkty pomiarowe. Przykład wyznaczenia punktów pomiarowych podano na rysunku 5-79. Twardość mierzy się sposobem Brinella, Rockwella lub Vickersa.

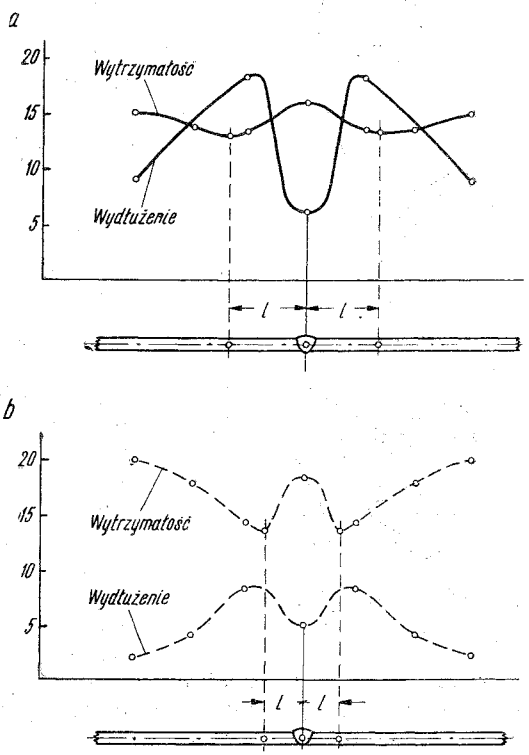



*Rys. 5-79. Punkty pomiarowe na próbce twardości złącza spawanego*

Za pomocą odpowiednich tabel można przeliczyć pomierzone twardości na doraźną wytrzymałość na rozerwanie w kG/mm². Charakterystyczne wykresy zmiany wytrzymałości wzdłuż materiału spawanego— gazowo i łukowo — dla stali chromowo-manganowo-krzemowej 30 HGS obrobionej cieplnie do $R_r$ powyżej 90 kG/mm² podano na rysunku 5-80.

Na wykresach widać wyraźnie większą strefę wpływu ciepła przy spawaniu gazowym niż łukowym. Przykładowo można podać, że dla grubości materiału do 3 mm szerokość strefy $l$ wynosi 15÷20 mm przy spawaniu gazowym i 6÷8 mm przy spawaniu łukowym, zaś dla grubości materiału 3÷6 mm szerokość ta wynosi odpowiednio 15÷30 mm i 8÷12 mm.

Oprócz opisanych badań, do metod niszczących należy jeszcze zaliczyć badania wrażliwości spoiny na pękanie, zginanie, spłaszczanie i udarność, ustalone odpowiednimi normami PN. Ze względu na mniejszą przydatność tych badań w produkcji części szybowcowych nie umieszcza się ich szczegółowych opisów.

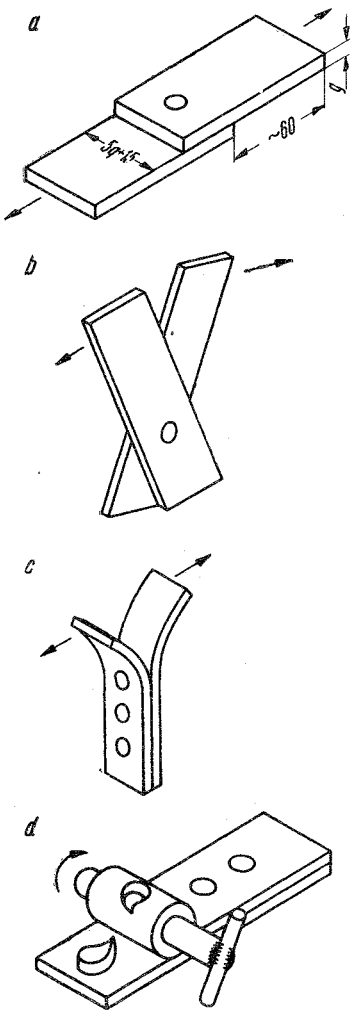



*Rys. 5-80. Wykresy zmiany wytrzymałości i wydłużenia w złączu spawanym*
*a* — spawanie gazowe, *b* — spawanie łukowe

*Kontrola jakości złącz*

*zgrzewanych.* Połączenia zgrzewane wykazują wady dotyczące nieciągłości metalu zgrzeiny, jak pęknięcia i pęcherze. Oprócz tego zdarzają się wady związane z wyglądem powierzchni zewnętrznych połączenia, jak: za głębokie wgniecenia, rozerwania materiału i pęknięcia krawędzi, wypryski oraz przepalenia. Występują też niewtopienia.

Podobnie jak przy łączeniu spawaniem, konstruktor w dokumentacji rysunkowej wskazuje, które złącza zalicza do odpowiedzialnych, a które do mniej odpowiedzialnych. Zależnie od ważności części zgrzewanej niekiedy dopuszcza się złącza z wadliwymi zgrzeinami. Ogólnie nie dopuszcza się złącz, w których ponad 20% zgrzein jest wadliwych, z tym że w połączeniach odpowiedzialnych może być tylko 5% zgrzein z pęknięciami zewnętrznymi i rozerwanymi krawędziami.




*Rys. 5-81. Próbki złącz zgrzewanych*

Wadliwe złącza zgrzewane należy poprawić. Niektóre wady można naprawiać za pomocą zgrzewania, inne — spawania.

W zgrzeinie mogą wystąpić pęknięcia na zewnątrz materiału, oraz pęknięcia wewnętrzne. Pęcherze występują wewnątrz materiału zgrzeiny.

Za głębokie wgniecenia powstają wskutek za dużej siły docisku, zaś rozerwania materiału i pęknięcia krawędzi blach — przy za bliskim położeniu punktów zgrzewania względem krawędzi.

Wypryski pomiędzy zgrzewanymi blachami powstają wskutek za małej siły docisku lub zbyt długiego czasu zgrzewania lub zanieczyszczeń miejsc zgrzewanych.

Wypryski mogą powstawać również na zewnątrz blach zgrzewanych podobnie jak i przepalenia. Charakteryzują się one rozwarstwianiem się powierzchni, nadtopieniami i kraterami.

Niewtopienia, podobnie jak brak przetopu w spoinie, obniżają własności wytrzymałościowe połączenia. Jeżeli zgrzeina wykazuje niewtopienia, wówczas pozostawia się ją i wykonuje obok dodatkowe zgrzanie.

Rozerwania materiału, pęknięcia i przepalenia wymagają przewiercenia całej zgrzeiny odpowiednim wiertłem i pospawania otworu gazowo lub elektrycznie łukowo.

Wady takie, jak drobne pęcherze, pęknięcia wewnętrzne, wypryski wewnętrzne i za głębokie wgniecenia pozostawia się bez naprawy, jeżeli nie są one zgrupowane w jednym miejscu.

Kontrolę złącz zgrzewanych można przeprowadzić metodami nieniszczącymi i niszczącymi. Ważne jest też skontrolowanie materiału zgrzewanego na przydatność do zgrzewania.

Metody nieniszczące obejmują oględziny zewnętrzne, kontrolę radiologiczną i ultradźwiękową. Za pomocą oględzin zewnętrznych wykrywa się pęknięcia, za głębokie wgniecenia, rozerwania, wypryski zewnętrzne i przepalenia.

Kontrola radiologiczna i ultradźwiękowa wykrywa pęknięcia i pęcherze.

Do metod niszczących zalicza się badania wytrzymałościowe, metalograficzne i twardości oraz próby technologiczne.

Istnieje kilka sposobów przeprowadzania badań wytrzymałościowych. Podane są one na rysunku 5-81. Próba statyczna ścinania (*a*) ustalona jest normą PN-65/M-69782. Wytrzymałość połączenia powinna być równa 80÷100% wytrzymałości materiału zgrzewanego. Są też próby na ścinanie przez skręcanie (*b*), rozciąganie przez rozrywanie (*c*) lub wyłuskiwanie (*d*).

Sposób przeprowadzenia próby na rozciąganie przez wyłuskiwanie stosowany jest też do wykonywania prób technologicznych. Ze względu na różne parametry zastosowane przy poszczególnych zgrzeinach, po rozwinięciu blachy górnej otrzymuje się różne kształty zgrzein. Prawidłowo wykonana zgrzeina powinna mieć wyrwany kawałek materiału z blachy górnej w kształcie kropli.

Badania metalograficzne przeprowadzone na zgładach próbek umożliwiają wykrycie niewtopienia oraz wad wewnętrznych zgrzeiny, a więc pęknięcia i pęcherze. Szczegółowy opis próby twardości złącza podano przy próbach złącz spawanych.

## 5.9. OBRÓBKA CIEPLNA

### 5.9.1. Obróbka cieplna stali

Stal jest stopem żelaza z węglem oraz ewentualnie z innymi pierwiastkami, zawierającymi do około 2% węgla.

Rozróżnia się stale węglowe (nie stopowe) i stopowe ze względu na zawartość składników stopowych. Obie grupy stali dzielą się na stale konstrukcyjne i narzędziowe.

Ze względu na czystość stali, czyli jej jakość, odróżnia się stale węglowe konstrukcyjne zwykłej i wyższej jakości, zależnie od zawartości fosforu i siarki.

W procesie wykonywania części stalowych stosuje się obróbkę cieplną. Jest to zabieg, pod wpływem którego zmienia się struktura stopów w stanie stałym (niestopionym), a tym samym ich własności mechaniczne, fizyczne i chemiczne.

Obróbka cieplna w połączeniu ze zmianą składu chemicznego materiału nazywa się obróbką cieplno-chemiczną.

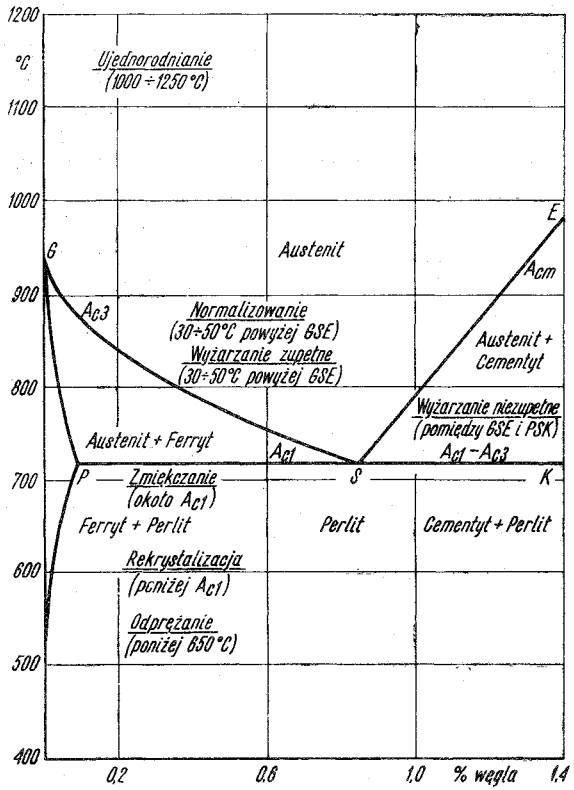
Proces obróbki cieplnej składa się z trzech etapów: nagrzania, wygrzania i chłodzenia. Wszystkie etapy przebiegają w określonym czasie.

Stosowanie obróbki cieplnej przy produkcji części metalowych ma w zasadzie dwa główne cele. Pierwszy — to przygotowanie materiału do obróbki mechanicznej lub plastycznej oraz przywracanie materiałom żądanej własności po wykonaniu obróbki, drugi — to zapewnienie częściom wykonywanym żądanej wytrzymałości.

Rozróżnia się następujące rodzaje obróbki cieplnej stali:
— wyżarzanie,
— hartowanie,
— odpuszczanie,
— ulepszanie cieplne,
— stabilizowanie.

Określenia poszczególnych rodzajów obróbki cieplnej ustala norma PN-66/H-01200.

*Wyżarzanie* (określenie ogólne) jest to zabieg cieplny polegający na nagrzaniu metalu do określonej temperatury, wygrzaniu w tej temperaturze i następnie studzeniu. Stosuje się różne odmiany wyżarzania. Zakresy poszczególnych wyżarzeń stali na tle wykresu równowagi układu żelazo-węgiel podano na rysunku 5-82.

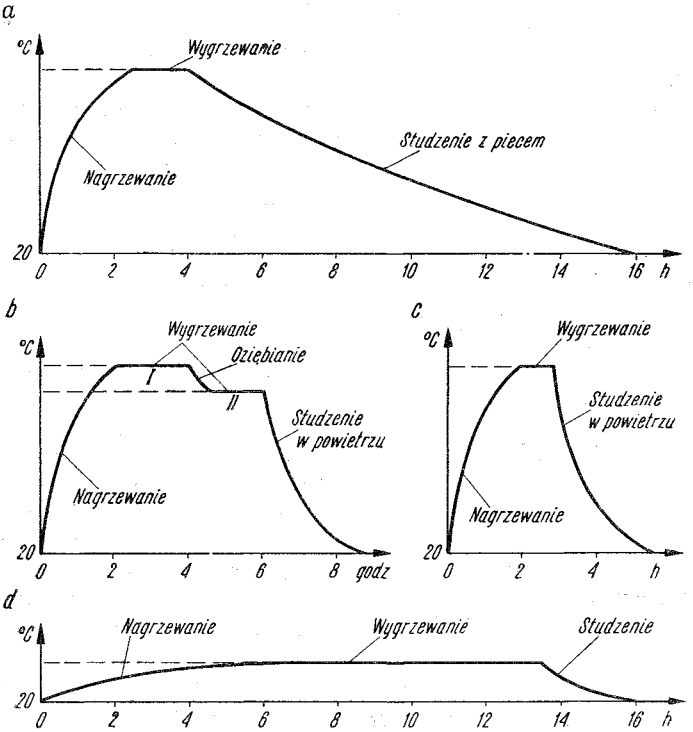



*Rys. 5-82. Zakres poszczególnych wyżarzeń stali*

Do produkcji szybowców stosuje się najczęściej stal walcowaną na zimno i na gorąco oraz ciągnioną na zimno. Stal dostarczana jest w różnych stanach kwalifikacyjnych. Najczęściej spotyka się wyroby normalizowane lub zmiękczone. Są to stany uzyskane przez wyżarzanie.

*Wyżarzanie normalizujące* (normalizowanie) polega na nagrzaniu przedmiotu do temperatury powyżej linii $A_{C3}$—$A_{Cm}$ (patrz rys. 5-82), wygrzaniu w tej temperaturze i następnym studzeniu (powolnym chłodzeniu) w spokojnym powietrzu lub w gazie obojętnym. Celem tej obróbki jest otrzymanie struktury jednolitej i drobnoziarnistej oraz zazwyczaj

polepszenie własności mechanicznych. Przebieg wyżarzania normalizującego w porównaniu z innymi wyżarzaniami i stablizowaniem stali podano na rysunku 5-83.




*Rys. 5-83. Przebieg wyżarzania i stabilizowania stali*
*a* — wyżarzanie zupełne, *b* — wyżarzanie izotermiczne, *c* — wyżarzanie normalizujące, *d* — stabilizowanie

*Wyżarzanie zmiękczające (zmiękczanie)* polega na nagrzaniu przedmiotu do temperatury zbliżonej do $A_{C1}$ (patrz rys. 5-82), wygrzaniu w tej temperaturze i następnie ochłodzeniu. Celem tej obróbki jest otrzymanie struktury cementytu kulkowego (sferoidyzacja), usunięcie naprężeń wewnętrznych, zmniejszenie prawdopodobieństwa pęknięć i paczenia się przy hartowaniu oraz polepszenie obrabialności. Po wyżarzeniu zmiękczającym otrzymuje się największą i najbardziej plastyczną strukturę, jaką można osiągnąć dla danej stali.

*Hartowanie* (określenie ogólne) jest to zabieg cieplny, polegający na nagrzaniu przedmiotu do temperatury powyżej $A_{C3}$, wygrzaniu w tej temperaturze z następnym dostatecznie szybkim chłodzeniem w celu otrzymania struktury martenzytycznej lub pośredniej (bainitycznej), a przez to zwiększenia twardości (rys. 5-84).

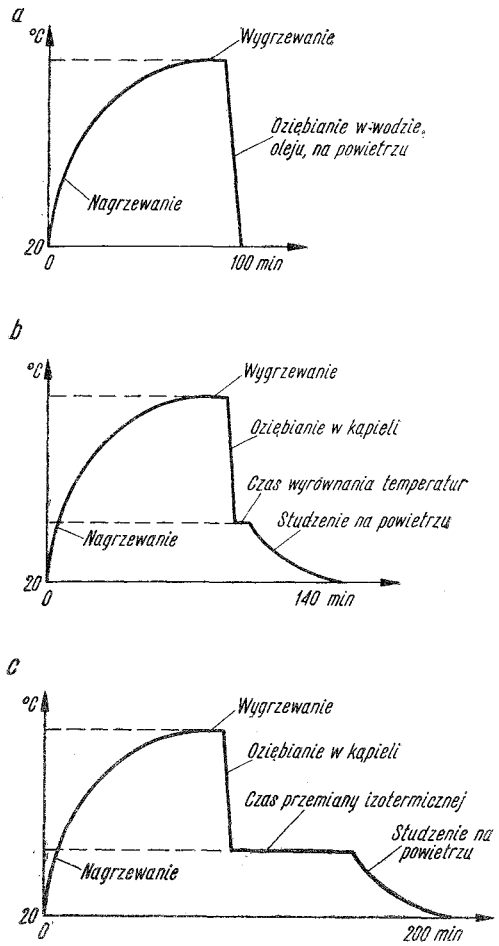
*Patentowanie,* stosowane przy produkcji drutów, jest to zabieg cieplny przed ciągnięciem na zimno, polegający na ogrzaniu do temperatury powyżej zakresu przemian (GS) i następnym oziębieniu w kąpieli ołowiowej o temperaturze 450÷550°C lub w strumieniu powietrza.

*Odpuszczanie* jest to zabieg cieplny stosowany do przedmiotów uprzednio zahartowanych, polegający na nagrzaniu do pewnej temperatury

niższej od $A_{C1}$, wygrzaniu i następnym chłodzeniu. Celem tej obróbki jest usunięcie naprężeń hartowniczych i polepszenie własności plastycznych.

*Ulepszenie cieplne* jest to połączenie zabiegów hartowania oraz odpuszczania w odpowiednio wysokiej temperaturze w celu otrzymania optymalnych własności mechanicznych przy zachowaniu możliwości obróbki skrawaniem.

*Stabilizowanie* polega na dłuższym wygrzaniu przedmiotów stalowych w temperaturze nie przekraczającej 150°C w celu zapewnienia niezmienności wymiarów, zmniejszenia naprężeń wewnętrznych i przyspieszenia starzenia.




*Rys. 5-84. Przebieg hartowania stali*
*a* — hartowanie zwykłe, *b* — hartowanie stopniowe, *c* — hartowanie z przemianą izotermiczną

Przy zamawianiu materiału z hut należy starać się wybrać taki stan kwalifikacyjny, który nadawałby się od razu do dalszego stosowania. Nie zawsze asortyment znajdujący się w magazynie odpowiada wymaganiom produkcji, a poza tym istnieją różne wymagania produkcyjne w stosunku do danego wyrobu. Stąd też pojawia się nieraz konieczność przeprowadzenia obróbki cieplnej we własnym zakresie. Głównym celem jest przystosowanie materiału do wykonywania obróbki mechanicznej oraz obróbki plastycznej. Rodzaje obróbki cieplnej materiałów wyjściowych podano w tablicy 5-18.

Jak widać, przygotowanie polega na wyżarzaniu. Dla stali węglowych przewidziane jest wyżarzanie normalizujące, które zostało opisane na str. 110.

Stale stopowe podlegają wyżarzaniu zupełnemu, izotermicznemu, niezupełnemu i rekrystalizującemu.

*Wyżarzanie zupełne* polega na nagrzaniu przedmiotu do temperatury powyżej linii $A_{C3}$—$A_{Cm}$ (patrz rys. 5-82), takiej samej, jak przy wyżarzaniu normalizującym, wygrzaniu w tej temperaturze i następnym powolnym studzeniu z piecem w zakresie temperatur krytycznych (między liniami GSE i PSK). Dalej przedmiot studzi się w powietrzu. Wyżarzanie zupełne nie zmienia zasadniczej budowy stali, lecz zmienia wielkość ziarna i powoduje równomierność struktury. Stal wyżarzona odznacza się dobrą ciągliwością i małą twardością.

Przedmioty wyżarzone zupełnie mają odwęglone powierzchnie ze

Tablica 5-18

**Rodzaje obróbki cieplnej materiałów wyjściowych do dalszej obróbki**

| Półfabrykat | Znak stali | Rodzaj obróbki | Cel obróbki |
|---|---|---|---|
| Blachy zimno walcowane | 30 HGS | Wyżarzanie rekrystalizujące | Przygotowanie do głębokiego tłoczenia i gięcia |
| | | Wyżarzanie izotermiczne | „ „ „ |
| | węglowa | Wyżarzanie normalizujące | „ „ „ |
| | | Wyżarzanie zupełne | „ „ „ |
| Pręty ciągnione na zimno | 30 HGS | Wyżarzanie zupełne | Polepszenie obrabialności |
| | | Wyżarzanie izotermiczne | Skrócenie czasu wyżarzania zupełnego |
| | węglowa | Wyżarzanie normalizujące | Polepszenie obrabialności |
| Pręty walcowane na gorąco | 30 HGS | Wyżarzanie normalizujące z wyżarzaniem niezupełnym | Polepszenie obrabialności |
| | | Wyżarzanie zupełne | „ „ |
| | | Wyżarzanie niezupełne | Skrócenie czasu wyżarzania zupełnego |
| | | Wyżarzanie izotermiczne | Skrócenie czasu wyżarzania zupełnego |
| | węglowa | Wyżarzanie normalizujące | Polepszenie obrabialności |
| Kształtowniki w stanie niewyżarzonym | 30 HGS | Wyżarzanie niezupełne | Polepszenie obrabialności |

znaczną zgorzeliną. Proces wyżarzania jest długi i zajmuje przez długi czas piec hartowniczy.

Wyżarzanie izotermiczne polega na nagrzaniu przedmiotu do temperatury powyżej linii $A_{C3}$ — $A_{Cm}$ (patrz rys. 582), takiej samej, jak przy wyżarzaniu normalizującym i zupełnym, wygrzaniu w tej temperaturze i następnym szybkim chłodzeniu do temperatury przemian perlitycznych, wygrzaniu w tej temperaturze około 15÷20 minut i następnym studzeniu w spokojnym powietrzu. Szybkie chłodzenie do temperatury przemian perlitycznych odbywa się w praktyce przez przeniesienie przedmiotu z jednego pieca do drugiego, w którym przygotowana jest już niższa temperatura.

Wyżarzanie izotermiczne daje te same własności stali co wyżarzanie zupełne; jest zabiegiem o wiele szybszym, nie zajmuje tak długo pieca, wymaga natomiast pracy w dwóch piecach.

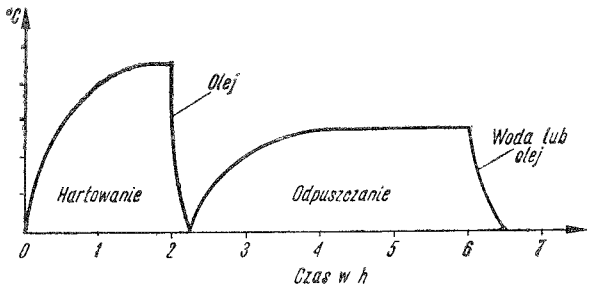
Wyżarzanie niezupełne polega na nagrzaniu przedmiotu w zakresie temperatur krytycznych (temperatury niższe niż przy wyżarzaniu zupełnym i izotermicznym), wygrzaniu w tej temperaturze i następnym powolnym studzeniu z piecem w zakresie temperatur krytycznych (między liniami GSE i PSK). Dalej przedmiot studzi się w powietrzu. Grube przedmioty można studzić w powietrzu od razu po wygrzaniu w piecu. Materiał otrzymuje w przybliżeniu te same własności co po wyżarzaniu zupełnym, a proces jest krótszy, więc ekonomiczniejszy.

Wyżarzanie rekrystalizujące (rekrystalizacja) polega na nagrzaniu przedmiotu, który podlegał uprzednio zgnieceniu, do temperatury wyższej od praktycznej temperatury rekrystalizacji (lecz poniżej $A_{C1}$), wygrzaniu w tej temperaturze i następnym studzeniu w powietrzu. Proces powoduje rekrystalizację materiału, duże zmiękczenie go i daje niższą twardość niż przy wyżarzaniu zupełnym. Procesu nie należy stosować w celu polepszenia obrabialności.

Zestawienie temperatur nagrzewania stali występujących w różnych procesach wyżarzania podano w tablicy 5-19.

Stosowanie obróbki cieplnej konieczne jest nieraz przy głębokim tłoczeniu blach na zimno oraz przy przygotowywaniu części do prostowania po spawaniu. Należy wówczas stosować proces wyżarzania rekrystalizującego.

Części ze stali 30 HGS wymagające po spawaniu dodatkowej obróbki skrawającej, jak np. wiercenie, toczenie itd., powinno się poddać wyżarzaniu niezupełnemu.




*Rys. 5-85. Wykres przebiegu ulepszania cieplnego*

Przy spawaniu powstają w pobliżu spoiny strefy zahartowane wskutek nagrzania materiału i szybkiego odprowadzenia ciepła przez otoczenie oraz strefy odpuszczone dalej położone. Dlatego tam, gdzie jest to szkodliwe, części spawane powinny przejść obróbkę cieplną.

Drugim zasadniczym celem stosowania obróbki cieplnej jest nadanie częściom wymaganych własności wytrzymałościowych. Stosuje się tu normalizowanie dla wyrobów spawanych ze stali węglowych oraz ulepszenie cieplne dla wyrobów ze stali stopowych.

Definicja procesu ulepszania cieplnego, składającego się z hartowania i odpuszczania, została już podana na wstępie. Wykres przebiegu ulepszania cieplnego pokazany jest na rysunku 5-85.

Stale mają różną hartowność, tj. zdolność do utwardzania się w głąb pod wpływem obróbki cieplnej, czyli tworzenia struktury martenzytycznej. Stal 30 HGS ma niedużą hartowność.

Przy hartowaniu zwiększa się twardość i wytrzymałość materiału, wzrasta również granica plastyczności i sprężystości.

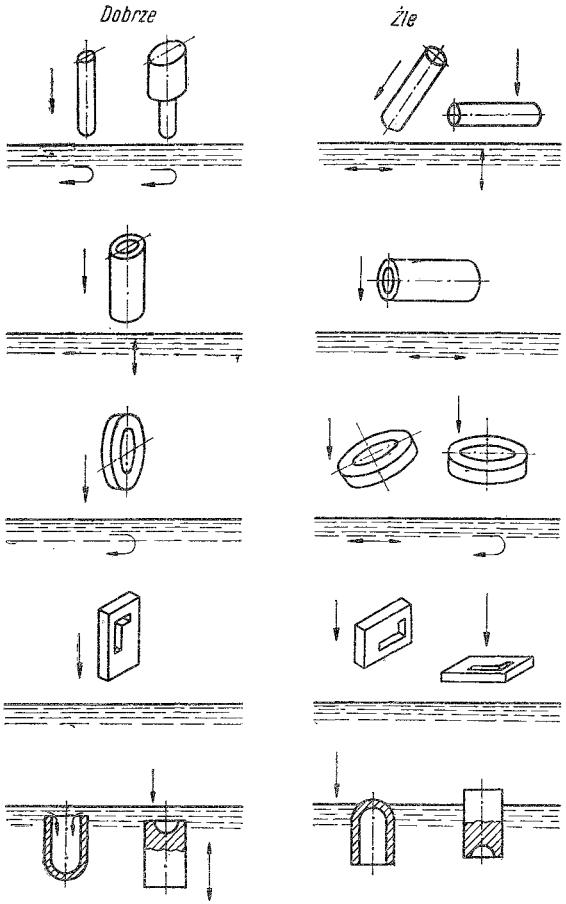
## Temperatury nagrzewania stali w obróbce cieplnej

| Znak stali | Punkty przełomowe | | | Wyżarzanie | | | | | Ulepszanie | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | temperatura topnienia | temperatura punktu $A_{C3}$ | temperatura punktu $A_{C1}$ | rekrystalizujące (temperatura poniżej $A_{C1}$) | zupełne (temperatura powyżej GSE) | niezupełne (temperatura w zakresie $A_{C1} - A_{C3}$) | izotermiczne (temperatura powyżej GSE) | normalizujące: wytrzymałość kG/mm² / temperatura | hartowanie | odpuszczanie: wytrzymałość kG/mm² / temperatura |
| | w °C | | | | | | | | | |
| 10 | 1480 ÷ 1500 | 870 | 725 | 690 ÷ 710 | 890 ÷ 910 | — | 890 ÷ 910 | 34 ÷ 45 / 890 ÷ 920 / powietrze | 42 ÷ 65 / 890 ÷ 910 / woda(olej) | (150 ÷ 170) / powietrze |
| 20 | 1470 ÷ 1490 | 840 | 725 | 690 ÷ 710 | 880 ÷ 900 | — | 880 ÷ 900 | 42 ÷ 52 / 870 ÷ 900 / powietrze | 860 ÷ 880 / woda | 50 ÷ 60 / 550 ÷ 670 / powietrze |
| 45 | 1440 ÷ 1460 | 775 | 725 | 690 ÷ 710 | 840 ÷ 860 | — | | 61 ÷ 73 / 830 ÷ 860 / powietrze | 820 ÷ 840 / woda lub 830 ÷ 850 / olej | 68 ÷ 80 / 550 ÷ 670 / powietrze<br>110 ÷ 130 / 400 ÷ 450 / powietrze |
| 25 HM | 1465 ÷ 1485 | 825 | 730 | 680 ÷ 720 | | | | 860 ÷ 890 / powietrze | 830 ÷ 850 / woda lub 840 ÷ 860 / olej | 60 ÷ 75 / 620 ÷ 700 / powietrze<br>70 ÷ 85 / 550 ÷ 650 / powietrze<br>80 ÷ 95 / 500 ÷ 580 / powietrze<br>90 ÷ 105 / 450 ÷ 520 / powietrze |
| 30HGS | 1460 ÷ 1480 | 840 | 750 | 680 ÷ 720 | 890 ÷ 910 | 770 ÷ 790 / 640 ÷ 660 | 890 ÷ 910 / 640 ÷ 660 | 70 ÷ 90 / 870 ÷ 900 / powietrze | 870 ÷ 890 / olej lub 890 ÷ 910 / 390 ÷ 410 / olej | 70 ÷ 90 / 660 ÷ 680 / woda,olej<br>80 ÷ 100 / 620 ÷ 640 / woda,olej<br>90 ÷ 110 / 580 ÷ 600 / woda,olej<br>100 ÷ 120 / 540 ÷ 560 / woda,olej<br>110 ÷ 130 / 520 ÷ 540 / woda,olej<br>120 ÷ 140 / 480 ÷ 500 / woda,olej |

W produkcji części ze stali stopowych 30 HGS stosuje się dwa rodzaje hartowania ze względu na sposób chłodzenia — hartowanie zwykłe i hartowanie z przemianą izotermiczną.

Hartowanie zwykłe polega na nagrzaniu przedmiotu do temperatury powyżej $A_{C3}$, wygrzaniu i oziębieniu w ośrodku o temperaturze nie wyższej od temperatury początku przemiany martenzytycznej w celu otrzymania struktury martenzytycznej.

Części w czasie nagrzewania mogą ulec deformacjom, dlatego ważne jest właściwe ich umieszczenie w komorze pieca. Nie należy ładować czę-




*Rys. 5-86. Przykłady właściwego zanurzania przedmiotów*

ści jedna na drugą. Przedmioty powinny być nagrzewane równomiernie z wszystkich stron. Drobne części można nagrzewać w koszach metalowych.

Zbyt szybkie nagrzewanie przedmiotu powoduje naprężenia wewnętrzne spowodowane nierównomiernym nagrzaniem.

W celu uniknięcia silnego krzywienia się części i pękania, zarówno części spawanych, jak i niespawanych, stosuje się wstępne nagrzewanie do temperatury 550÷700°C, a potem właściwe nagrzanie do hartowania. Wymaga to dwóch pieców.

Oziębianie stali węglowych i 25 HM prowadzi się w wodzie lub oleju,

a stali 30 HGS — w oleju o temperaturze 20÷70°C. Ważne jest właściwe wprowadzanie przedmiotów do cieczy oziębiającej. Przykłady właściwego zanurzania podano na rysunku 5-86.

Jeżeli proces hartowania cienkich przedmiotów nie udał się, można go powtórzyć. Hartowanie przedmiotów o ściankach powyżej 1 mm można powtórzyć dwukrotnie.

Hartowanie z przemianą izotermiczną polega na nagrzaniu przedmiotu do temperatury powyżej $A_{C3}$, wygrzaniu, oziębieniu w kąpieli o temperaturze wyższej od temperatury początku przemiany martenzytycznej i wytrzymaniu w tej kąpieli aż do zupełnego rozkładu austenitu.

Przedmioty po wygrzaniu oziębia się przez 15÷20 minut w kąpieli saletrzanej lub ługowej. Temperatura cieczy zależy od grubości części, np. dla części cienkich wynosi 400±5°C. Ważne jest dobre mieszanie kąpieli w czasie jej używania. Temperatura kąpieli nie powinna wzrosnąć powyżej 5°C po zanurzeniu przedmiotu hartowanego. Studzenie części po wyjęciu z kąpieli przeprowadza się w kąpieli w bieżącej wodzie o temperaturze 40÷100°C. Następnie przedmiot należy dokładnie przemyć w bieżącej wodzie gorącej i suszyć w gorącym powietrzu.

Przy hartowaniu izotermicznym nie stosuje się odpuszczania. Ten rodzaj hartowania, aczkolwiek wymagający dodatkowych urządzeń, daje bardzo nieznaczne naprężenia wewnętrzne, nie wywołuje krzywienia się przedmiotów i nie powoduje pęknięć. Daje stal o lepszej plastyczności i hartuje ją na niewielkiej głębokości, przez co rdzeń przedmiotów grubszych pozostaje miękki, łatwiejszy do prostowania.

Hartowanie izotermiczne części o cienkich ściankach, do 1 mm, można raz powtórzyć, z grubszymi ściankami — dwukrotnie.

Drugą czynnością przy ulepszaniu cieplnym stali po hartowaniu zwykłym jest odpuszczanie.

Odpuszczanie powoduje zmniejszenie twardości i wytrzymałości na rozciąganie przy wzroście wydłużenia i odporności na uderzenia. Istnieje kilka zakresów temperatur odpuszczania. Parametry odpuszczania dla stali węglowych i stopowych podano w tablicy 5-19. Im wyższa jest temperatura odpuszczania, tym niższa jest wytrzymałość uzyskana po odpuszczeniu.

Nagrzewanie stali przy odpuszczaniu należy prowadzić powoli, aby nie spowodować pęknięć.

Po wygrzaniu, części ze stali węglowych i 25 HM studzi się w powietrzu, a stal 30 HGS oziębia się w wodzie lub oleju, tzn. szybko, aby nie dopuścić do kruchości odpuszczania występującej przy powolnym ochładzaniu na powietrzu. Nie wolno również części ochładzać razem z piecem.

Ulepszanie części o ściankach do 1 mm grubości można tylko raz powtórzyć, jeżeli nie uzyskało się po odpuszczeniu wymaganej twardości. Inne części można ulepszać dwukrotnie.

Parametry obróbki cieplnej stali narzędziowych podano w tablicy 5-20.

Ważną czynnością jest prostowanie części po hartowaniu. Prostowania można dokonać zarówno przed, jak i po odpuszczaniu. Można również przedmiot uchwycić w przyrządzie i odpuszczać razem z nim, wówczas prostowanie następuje w czasie odpuszczania. Stosuje się także prostowanie na gorąco, lecz tylko przy grzaniu całej części w piecu do temperatury 280°C.

Należy zauważyć, że dla stali 30 HGS podobne własności wytrzymałościowe, jak przy odpuszczaniu do 70÷90 kG/mm², można uzyskać przez

Tablica 5-20

**Parametry obróbki cieplnej stali narzędziowej**

| Gatunek stali | Znak stali | Temperatura kucia [°C] | Zmiękczanie | | Hartowanie | | Temperatura odpuszczania [°C] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | temperatura [°C] / ośrodek chłodzący | twardość HB max | temperatura [°C] / ośrodek chłodzący | twardość HRC min | |
| Stal narzędziowa stopowa do pracy na zimno | NC6 | 1000÷800 | 690÷710 / w skrzynce lub powietrzu lub 770÷790 / w piecu do 600 | 248 | 800÷830 / olej | 61 | 150÷260 |
| Stal narzędziowa szybkotnąca | SW9 | 1100÷900 | 800÷830 / w piecu do 650 lub z przemianą izotermiczną przy 720÷750 | 269 | 1220÷1250 / olej | 60÷64 | 530÷560 |

normalizowanie. W tym przypadku oba procesy spełniają tę samą rolę, z tym że stal po normalizowaniu ma niższą granicę płynności.

W omawianych procesach obróbki cieplnej występuje zawsze operacja wygrzewania w odpowiedniej temperaturze, otrzymywanej przez nagrzewanie przedmiotu. Przy hartowaniu i odpuszczaniu stosuje się wkładanie przedmiotów do pieca rozgrzanego, przy innych rodzajach można części ogrzewać razem z piecem lub wkładać do pieca rozgrzanego. W szczególnych przypadkach stosuje się podgrzewanie wstępne w osobnym piecu, co było już omawiane.

Orientacyjnie przyjmuje się, że przedmiot powinien wygrzewać się w piecu w czasie zależnym od swej grubości. Oczywiście czas wygrzewania liczy się od uzyskania w piecu właściwej temperatury.

Dla blach wyżarzanych normalizująco, zupełnie, izotermicznie i hartowanych przyjmuje się czas wynoszący tyle minut, ile milimetrów ma podwojona grubość blachy z dodaniem stałych 3 minut.

Dla prętów wyżarzanych normalizująco, zupełnie, izotermicznie i hartowanych przyjmuje się czas wynoszący tyle minut, ile milimetrów ma średnica pręta.

Dla rur krótkich wyżarzanych normalizująco, zupełnie, izotermicznie i hartowanych przyjmuje się czas w minutach równy podwojonej liczbie milimetrów grubości ścianki rury z dodaniem stałych 3 minut. Dla rur długich wyżarzanych normalizująco, zupełnie, izotermicznie i hartowanych przyjmuje się czas w minutach równy czterokrotnej liczbie milimetrów grubości ścianki rury z dodaniem 3 minut.

Przy wyżarzaniu niezupełnym i rekrystalizującym oraz odpuszczaniu czas wygrzewania przyjmuje się podobnie jak dla blach, prętów i rur, z tym że stałe wartości czasów równają się tutaj 20 minutom.

Odpuszczanie powinno przeprowadzać się zaraz po hartowaniu, najpóźniej do 24 godzin.

Części szybowca wykonywane są ze stali węglowej konstrukcyjnej wyższej jakości o znaku 10, 20 i 45 oraz stali konstrukcyjnej stopowej do ulepszania cieplnego chromowo-manganowo-krzemowej (Cr-Mn-Si) o znaku 30 HGS lub chromowo-molibdenowej (Cr-Mo) o znaku 25 HM. Skład chemiczny wymienionych stali podano w tablicy 5-7.

Narzędzia konstruowane we własnym zakresie wykonywane są ze stali narzędziowej stopowej przeznaczonej do pracy na zimno, o znaku NC6, lub ze stali narzędziowej szybkotnącej o znaku SW9.

Części szybowca wykonywane są z blach, rur, prętów i drutów stalowych.

Ogólnie rozróżnia się stal w postaci lanej (staliwo), kutej, walcowanej (nadanej przez walcowanie na gorąco) oraz ciągnionej (nadanej przez ciągnienie lub walcowanie na zimno).

*Blachy* ze stali konstrukcyjnej węglowej i stopowej walcowanej dla przemysłu lotniczego ustala norma PN-60/H-92134. Grubość produkowanych blach cienkich walcowanych na zimno i na gorąco wynosi do 4,5 mm, zaś blach grubych walcowanych na gorąco — 5 do 60 mm. Rozróżnia się 4 klasy blach w zależności od technologii wykonania i jakości powierzchni oraz 4 kategorie zależnie od wymaganej tłoczności. Blachy dostarcza się trawione w stanie zmiękczonym lub normalizowanym.

Do produkcji części szybowcowych używa się blach cienkich tłocznych, walcowanych na zimno klasy I lub II oraz tłocznych, na gorąco walcowanych, klasy IV. Zasadnicza różnica polega na wielkościach dopuszczalnych wad powierzchni. Blachy walcowane na gorąco mają wady mieszczące się w granicach sumy dopuszczalnych odchyłek grubości rzeczywistej, podczas gdy blachy walcowane na zimno tylko w granicach połowy sumy dopuszczalnej odchyłki grubości rzeczywistej.

Zależnie od grubości blach ustalone są zalecane wymiary arkusza. Dopuszczalne odchyłki grubości są dodatnie i ujemne od wartości nominalnych. Do obliczenia ciężaru arkuszy blach przyjmuje się ciężar blachy o powierzchni 1 $m^2$ i grubości 1 mm, czyli 1 $dm^3$ równy 8,0 kG.

Blachy gatunku 10 i 20 stosuje się normalizowane, a gatunku 30 HGS i 25 HM — zmiękczane.

Własności mechaniczne blach w stanie dostawy zestawiono w tablicy 5-21.

Badania własności mechanicznych przeprowadza się na próbkach pobranych z blach.

Blachy poddaje się próbom twardości, rozciągania, tłoczności i zginania na zimno. Próby twardości opisano w punkcie 5.9.2.

*Próbę statyczną rozciągania* ustala norma PN-62/H-04310. Kształt próbki podano na rysunku 5-87. Z blach cienkich wycina się z trzech arkuszy stosu badanej partii po 4 próbki, a z blach grubych wycina się z dwóch arkuszy stosu po 2 próbki. Wytrzymałość na rozciąganie oblicza się ze wzoru:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \qquad [\mathrm{kG/mm}]^2 \qquad (5\text{-}8)$$

gdzie:

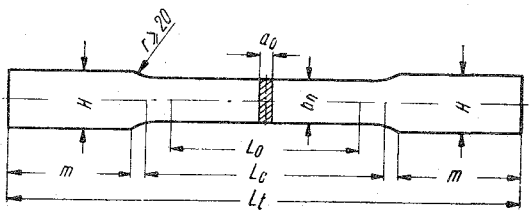
$F_m$ — największa siła obciążająca uzyskana w czasie próby [kG],

$S_0 = a_0 \cdot b_0$ — powierzchnia pierwotnego przekroju poprzecznego próbki [$mm^2$].

Tablica 5-21

**Własności mechaniczne blach stalowych w stanie dostawy**

| Znak stali | $R_m$ [kG/mm²] | | $A_{10}$ [% min] | | | | Twardość HB blach grubości powyżej 4,5 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | dla blach grubości | | | | | | |
| | do 4,5 mm | powyżej 4,5 mm | powyżej 0,9 do 1,5 | powyżej 1,5 do 2,0 | powyżej 2,0 do 4,5 | powyżej 4,5 mm | średnica odcisku [mm] |
| 10 | 28÷46 | 28÷46 | 23 | 25 | 26 | 26 | — |
| 20 | 35÷50 | 40÷55 | 24 | 24 | 24 | 24 | 5,60÷4,85 |
| 30 HGS | 55÷75 | 50÷75 | 16 | 16 | 16 | 15 | 5,05÷4,15 |




mm

| $a_0$ | $b_0$ | m min | H | $L_0$ | $L_c$ | $L_t$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,1 ÷ 2,0 | 12,5 | 50 | 20 | 50 | 75 | 185 |
| 2,0 ÷ 2,9 | 20 | 50 | 30 | 80 | 120 | 220 |
| 3,0 | 20 | 60 | 30 | 45 | 55 | 200 |
| 4,0 | 20 | 60 | 30 | 50 | 70 | 235 |
| 5,0 | 20 | 60 | 30 | 55 | 80 | 245 |
| 6,0 | 20 | 60 | 30 | 60 | 85 | 250 |
| 8,0 | 30 | 70 | 40 | 80 | 115 | 295 |

*Rys. 5-87. Wymiary próbek stalowych płaskich z główkami*

Jeżeli wynik próby jest ujemny, pobiera się i bada próbki z podwójnej liczby blach.

Na próbkach płaskich z główkami wyznacza się od razu pierwotną długość pomiarową $L_0$ do wyznaczenia wydłużenia $A_5$. Po rozerwaniu obie części próbki składa się i mierzy długość pomiarową po zerwaniu $L_u$.

Wydłużenie $A_5$ jest wydłużeniem względnym; jest to przyrost długości pomiarowej próbki po jej rozerwaniu w odniesieniu do pierwotnej długości pomiarowej próbki wyrażony w procentach. Wydłużenie oblicza się ze wzoru:

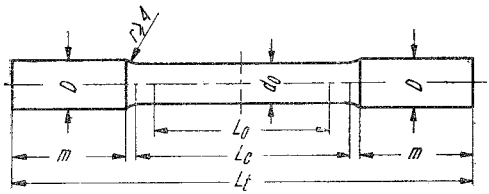
$$A_5 = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100\% \qquad (5\text{-}9)$$

gdzie:

$A_5$ — wydłużenie względne próbki proporcjonalnej pięciokrotnej,

$L_u$ — długość pomiarowa próbki po zerwaniu [mm],
$L_0$ — pierwotna długość pomiarowa próbki [mm].

*Próbę tłoczności metodą Erichsena* ustala norma PN-57/H-04400. Próba polega na wtłaczaniu kulki specjalnego aparatu w próbkę, aż do chwili powstania pęknięcia na próbce, i na pomiarze głębokości wytłoczonego wgłębienia. Głębokość wgłębienia w mm odczytuje się z podziałówki aparatu.




mm

| $d_0$ | $D$ | $m$ min | $L_0$ | $L_c$ | $L_t$ min |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 8 | 25 | 25 | 30 | 80 |
| 8 | 10 | 30 | 40 | 48 | 115 |
| 10 | 12 | 35 | 50 | 60 | 140 |
| 15 | 18 | 50 | 75 | 90 | 200 |
| 20 | 24 | 60 | 100 | 120 | 250 |
| 25 | 30 | 70 | 125 | 150 | 300 |

*Rys. 5-88. Wymiary próbek okrągłych z główkami do chwytania w szczęki*

*Technologiczną próbę zginania na zimno* ustala norma PN-57/H-04408. Próba służy do sprawdzenia zdolności materiału do odkształceń plastycznych przy zginaniu. Z badanej blachy pobiera się próbki o szerokości równej 15 do 20 mm i długości zależnej od grubości blachy, według wzoru:

$$l = 5g + 150 \quad \text{[mm]} \tag{5-10}$$

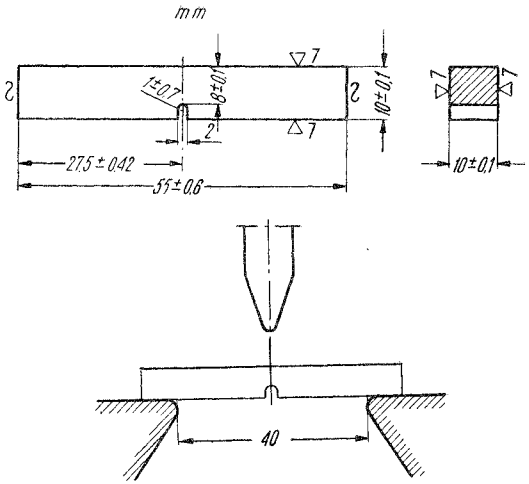
gdzie $g$ — grubość blachy w mm.

Próbkę ustawia się na dwóch podporach wyposażonych w obracające się wałki, rozstawionych w odległości równej grubości trzpienia powiększonej o 3 grubości blachy. Następnie naciska się próbkę w środku trzpieniem o zaokrąglonej krawędzi. Zginanie prowadzi się do ustalonego w warunkach technicznych kąta lub pełnego zgięcia obu ramion.

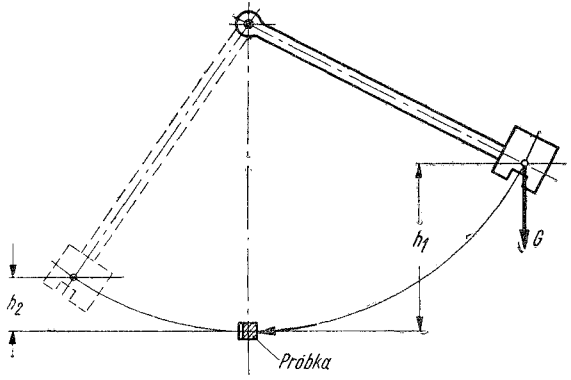
*Pręty* ze stali konstrukcyjnej węglowej i stopowej do budowy sprzętu lotniczego ustala norma PN-60/H-93013. Rozróżnia się 5 rodzajów prętów w zależności od sposobu wykonania oraz 4 kategorie zależnie od rodzaju dalszej przeróbki. Pręty dostarcza się w stanie surowym normalizowanym lub zmiękczonym.

Do produkcji części szybowcowych używa się prętów ciągnionych z przeznaczeniem do obróbki skrawaniem do średnicy 80 mm, oraz walcowanych na gorąco powyżej 80 mm z przeznaczeniem do obróbki skrawaniem.

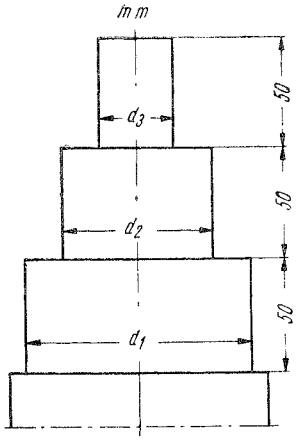
Powierzchnia prętów ciągnionych może wykazywać wady, których głębokość nie przekracza odchyłek dla danej średnicy licząc od wymiaru rzeczywistego. Pręty wykonywane są w klasie dokładności h 12. Odchyłki są ujemne. Długości fabrykacyjne wynoszą od 2 do 4,5 m.




*Rys. 5-89. Wymiary próbki i schemat ułożenia próbki do próby udarności*




*Rys. 5-90. Schemat próby udarności*




| Średnica pręta | Średnica $d_1$ | Średnica $d_2$ | Średnica $d_3$ |
|---|---|---|---|
| 15 ÷ 20 | 13 | 9 | 5 |
| 21 ÷ 25 | 18 | 15 | 10 |
| 26 ÷ 30 | 23 | 18 | 10 |
| 31 ÷ 40 | 28 | 22 | 15 |
| 41 ÷ 50 | 38 | 28 | 15 |
| 51 ÷ 60 | 48 | 32 | 15 |
| 61 ÷ 80 | 58 | 40 | 20 |

*Rys. 5-91. Próbki toczenia schodkowego*

Pręty gatunku 20 i 45 stosuje się znormalizowane, a gatunku 30 HGS i 25 HM — zmiękczone.

Własności mechaniczne bada się na próbkach pobranych z prętów. Pręty poddaje się próbom rozciągania, twardości, udarności i próbie toczenia schodkowego.

*Próbę statyczną rozciągania* ustala norma PN-62/H-04310 (5-88).

Sposób obliczenia wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenia oraz badania twardości podano przy opisie próbek z blach.

*Próbę udarności* stali ustala norma PN-57/H-04370. Próba służy do kontroli obróbki cieplnej i stwierdzenia kruchości materiału. Do próby stosuje się próbkę o kształcie podanym na rysunku 5-89.

Próbka powinna być całkowicie obrobiona wiórowo. Obróbkę cieplną należy wykonać przed wykonaniem karbu na próbce. Próbę przeprowadza się na młotach wahadłowych typu Charpy, Amsler lub innych. Udarność jest to odporność metalu na uderzenie. Schemat próby podano na rysunku 5-90. Młot o dobranym ciężarze $G$ do spodziewanej udarności materiału podnosi się na wysokość $h_1$ i opuszcza na próbkę leżącą na podporze. Młot po przełamaniu próbki unosi się na drugą wysokość $h_2$. Praca złamania $L$ próbki równa się różnicy iloczynów ciężaru i wysokości, według wzoru:

$$L = G \cdot h_1 - G \cdot h_2 \qquad [\text{kGm}] \tag{5-11}$$

Odczytuje się ją bezpośrednio na urządzeniu. Udarność oblicza się ze wzoru:

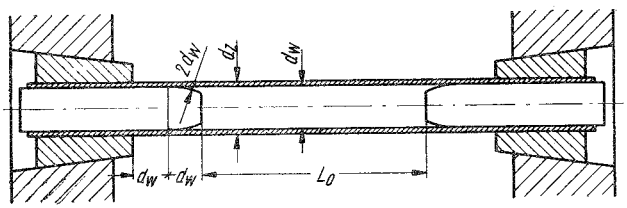
$$U = \frac{L}{A} \left[ \frac{\text{kGm}}{\text{cm}^2} \right] \tag{5-12}$$

gdzie:

$L$ — praca zużyta na złamanie próbki [kGm],

$A$ — powierzchnia przekroju poprzecznego próbki w miejscu karbu mierzona przed próbą [cm$^2$].

*Próbę toczenia schodkowego* ustala norma PN-60/H-04508. Kształt próbki podano na rysunku 5-91.




*Rys. 5-92. Wymiary próbek z rur*

Próba służy do wykrycia nieciągłości materiałowych wewnątrz materiału przerobionego plastycznie, spowodowanych głównie wtrąceniami niemetalicznymi i pęcherzami.

Z przygotowanej próbki stacza się kolejno kilka warstw, próbkę się trawi i stwierdza się nieciągłość materiału okiem nieuzbrojonym. Próbkę nietrawioną można też badać defektoskopem.

*Rury* ze stali konstrukcyjnej węglowej i stopowej do budowy sprzętu lotniczego ustala norma PN-65/H-74256. Rozróżnia się dwa typy rur w zależności od sposobu wykonania oraz dwa rodzaje — w zależności od przeznaczenia. Rury dostarcza się w stanie surowym, normalizowane lub wyżarzane zmiękczająco.

Do produkcji części szybowcowych używa się rur ciągnionych na zimno przeznaczonych na elementy nie pracujące pod ciśnieniem.

Powierzchnia rur ciągnionych na zimno może wykazywać wady o głębokościach w granicach dopuszczalnych odchyłek dla grubości ścianki. Wymiarami nominalnymi są średnica zewnętrzna i grubość ścianki. Produkuje się rury o ściankach grubości od 0,5 mm i średnicy od 4 mm. Odchyłki średnic i grubości ścianki są dodatnie i ujemne od wartości nominalnych. Długości fabrykacyjne rur ciągnionych na zimno wynoszą od 1,5 do 5 m przy grubości ścianek do 1 mm i od 1,5 do 7 m przy grubości ścianek powyżej 1 mm.

Rury gatunku 10, 20 i 30 HGS oraz 25 HM stosuje się wyżarzone zmiękczająco.

Własności wytrzymałościowe rur w stanie dostawy podano w tablicy 5-22.

Badania własności mechanicznych przeprowadza się na próbkach pobranych z rur. Rury poddaje się próbom rozciągania.

Próbę statyczną rozciągania ustala norma PN-62/H-04310. Wymiary próbki (rys. 5-92) zależą od średnic rury badanej. Oba końce rurki zaopatrzone są w trzpienie zapobiegające zgnieceniu końców rury w szczękach maszyny.

Sposób obliczenia wytrzymałości na rozciąganie taki sam jak sposób obliczania wytrzymałości blachy.

*Druty sprężynowe* okrągłe ze stali węglowej ustala norma PN-65/M-80057. Druty stosowane są do wyrobu sprężyn nie podlegających ulepszaniu cieplnemu. Rozróżnia się trzy rodzaje drutów w zależności od wytrzymałości na rozciąganie oraz dwie klasy w zależności od dokładności wykonania. Drut wykonany jest z walcówki do wyrobu drutu patentowego ze stali węglowej najwyższej jakości D 55 do D 85 A. Drut jest ciągniony na zimno, bez końcowej obróbki cieplnej.

Do produkcji sprężyn stosuje się drut bardzo wysokiej wytrzymałości i o wysokiej klasie dokładności.

Powierzchnia drutu może mieć wady o głębokości nie przekraczającej połowy sumy odchyłek przewidzianych dla średnicy. Odchyłki są dodatnie i ujemne od średnicy nominalnej. Wytrzymałość drutu np. dla średnicy 1,0 mm wynosi 250÷290 kG/mm$^2$.

Tablica 5-22

**Własności mechaniczne rur stalowych w stanie dostawy**

| Znak stali | Własności wytrzymałościowe min | |
|---|---|---|
| | $R_m$ [kG/mm$^2$] | $A_5$ [%] |
| 10 | 32 | 24 |
| 20 | 40 | 20 |
| 30 HGS | 50 | — |

Druty poddaje się próbom na rozciąganie, przeginanie i skręcanie.

Próbę statyczną rozciągania ustala norma PN-62/H-04310. Do prób na rozciąganie należy stosować długość pomiarową nie mniejszą niż 100 mm.

Próbę na przeginanie drutu ustala norma PN-57/M-80002. Próba ma na celu sprawdzenie podatności drutu na odkształcenia plastyczne i wykrycie wad wewnętrznych materiału. Próbkę z drutu wkłada się do przyrządu z dźwignią i przegina na przemian w lewo i w prawo aż do złamania. Liczba przegięć świadczy o podatności na odkształcenia plastyczne. Wady wewnętrzne wykrywa się na przełomie próbki.

Próbę skręcania drutu ustala norma PN-66/M-80003. Próba ma na celu określenie podatności drutu na odkształcenia przy skręcaniu jednokierunkowym i wykrycia wad wewnętrznych i zewnętrznych materiału. Próbkę z drutu zakłada się do przyrządu, który pozwala na lekkie naciągnięcie drutu, i jeden koniec obraca się wzdłuż osi próbki aż do złamania lub osiągnięcia żądanej liczby skręceń. Na przykład dla drutu o bardzo wysokiej wytrzymałości i średnicy 1 mm minimalna liczba przegięć wynosi 9, a skręceń 16.

Sprężyny zwija się na zimno. Najczęściej podlegają one potem pokryciu galwanicznemu.

Pokryte galwanicznie sprężyny muszą być odwodorowane w celu usunięcia kruchości wodorowej. Odwodorowanie przeprowadza się dwustopniowo. Dla średnic drutu do 2 mm stosuje się podgrzewanie wstępne przez 30 min w temperaturze 110°C i grzanie właściwe przez około 3 godziny w temperaturze 220÷230°C. Przez stopniowe nagrzewanie wydziela się wodór nie podważając nałożonej warstwy ochronnej. Po wygrzaniu sprężyny studzi się na wolnym powietrzu.

Tablica 5-23

**Parametry odpuszczania zwijanych sprężyn z drutu sprężynowego „patentowanego"**

| Średnica drutu [mm] | Temperatura odpuszczania [°C] | Czas trzymania w kąpieli [min] |
|---|---|---|
| 0,6÷0,8 | 230÷240 | 30 |
| 0,8÷1,6 | 260÷280 | 60 |
| 1,6÷2,0 | 280÷290 | 60 |

Zarówno sprężyny z drutu surowego, jak i pokrytego galwanicznie powinny przejść proces odpuszczania w celu podwyższenia granicy sprężystości. Parametry odpuszczania podano w tablicy 5-23. Odpuszczanie przeprowadza się w kąpieli olejowej lub solnej, po czym sprężyny studzi się na powietrzu. Sprężyny pokryte galwanicznie chłodzi się do temperatury około 50°C razem z kąpielą. Po odpuszczeniu sprężyny ściska się „zwój na zwój" i pozostawia na okres 24÷48 godzin w tym stanie.

### 5.9.2. Kontrola obróbki cieplnej stali

Kontrola obróbki cieplnej polega na:
— sprawdzeniu przebiegu procesu obróbki cieplnej,
— sprawdzeniu własności mechanicznych,
— wykryciu wad przedmiotu obrobionego.

Sprawdzanie przebiegu procesu obróbki cieplnej ma na celu uniknięcie podstawowych błędów, takich jak niewłaściwa temperatura i czas wygrzewania oraz szybkość nagrzewania i chłodzenia.

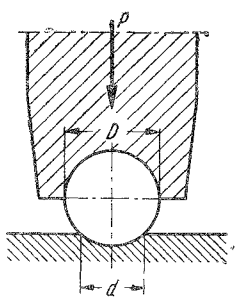
Tablica 5-24

**Własności mechaniczne stali na próbkach kwalifikacyjnych**

| Znak stali | Twardość w stanie surowym [HB] | Twardość w stanie zmiękczonym [HB] | $R_m$ [kG/mm²] | $R_e$ [kG/mm²] | $A_5$ [%] | $U$ [kGm/cm²] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 (N)/(H) | max 137 | — | 34÷45 | min 21 | min 31 | — |
| | | | 42÷65 | min 25 | min 19 | — |
| 20 (N)/(T) | max 156 | — | 42÷52 | min 25 | min 25 | — |
| | | | 50÷60 | min 30 | min 22 | — |
| 45 (N)/(T) | max 241 | max 197 | 61÷73 | min 36 | min 16 | — |
| | | | 68÷80 | min 42 | min 16 | — |
| 25 HM(T) | — | max 217 | 60÷75 | min 45 | min 19 | 12 |
| | | | 70÷85 | min 52 | min 17 | 11 |
| | | | 80÷95 | min 60 | min 15 | 10 |
| | | | 90÷105 | min 70 | min 12 | 9 |
| 30 HGS(T) | — | max 229 | 70÷90<br>80÷100<br>90÷110 | brak danych | | |
| | | | 100÷120 | min 85 | min 10 | 4,5 |
| | | | 110÷130<br>120÷140 | brak danych | | |

Od przedmiotów obrobionych cieplnie wymaga się odpowiednich własności, podanych w tablicy 5-24.

Do sprawdzania własności wytrzymałościowych przedmiotów obrobionych cieplnie zalicza się próbę twardości oraz próbę wzorców kontrolnych na rozciąganie i udarność. Próby na rozciąganie i udarność zostały już opisane.




*Rys. 5-93. Schemat próby twardości sposobem Brinella*

Znanych jest kilka sposobów pomiaru twardości. Należą do nich:

— próba metodą Vickersa,
— próba metodą Brinella,
— próba metodą Rockwella.

*Próba metodą Brinella* nadaje się do pomiaru stali niezbyt twardych.

Próbę twardości metali metodą Brinella ustala norma PN-57/H-04350. Schemat próby podano na rysunku 5-93. Próba polega na wciskaniu twardej kulki specjalnego aparatu w powierzchnię metalu

i zmierzeniu średnicy trwałego odcisku po odciążeniu. Próbę twardości metodą Brinella można stosować do przedmiotu o grubości wynoszącej co najmniej 10 głębokości odcisku. Na powierzchni przeciwległej do odcisku nie powinno powstać miejscowe odkształcenie.

Twardość Brinella wyraża się stosunkiem siły obciążającej $P$ w kilogramach do powierzchni odcisku w milimetrach kwadratowych.

Wartość liczbową twardości oblicza się ze wzoru:

$$HB = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} \quad [kG/mm^2] \tag{5-13}$$

gdzie:

HB — twardość Brinella przy zastosowaniu kulki o średnicy 10 mm i siły obciążającej 3000 kG działającej przez 10 do 15 sekund,

$P$ — siła obciążająca [kG],

$D$ — średnica kulki [mm],

$d$ — średnica odcisku [mm].

Norma podaje od razu tablicę przeliczenia twardości Brinella ze średnicy odcisku.

Istnieje praktyczna zależność między wytrzymałością na rozciąganie stali a twardością Brinella. W przybliżeniu można przyjąć, że

$$R_m \approx 0{,}35 \text{ HB} \tag{5-14}$$

*Próbę twardości metali metodą Vickersa* ustala norma PN-57/H-04360. Twardościomierzem Vickersa można mierzyć bardzo różne twardości materiałów. Próba polega na wciskaniu ostrosłupa diamentowego specjalnego aparatu w powierzchnię metalu i zmierzeniu długości przekątnej powstałego odcisku po odciążeniu. Kąt między przeciwległymi ściankami ostrosłupa wynosi 136°.

Próbę twardości metodą Vickersa można stosować do przedmiotu o grubości wynoszącej co najmniej 1,2 przekątnej odcisku. Ślady odkształceń na powierzchni przeciwległej do odcisku nie powinny być widoczne.

Twardość Vickersa wyraża się stosunkiem siły obciążającej $P$ w kG do powierzchni pobocznicy odcisku w mm$^2$.

Wartość liczbową twardości oblicza się ze wzoru:

$$HV = \frac{2P \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \quad [kG/mm^2] \tag{5-15}$$

gdzie:

HV — twardość Vickersa przy zastosowaniu siły obciążającej $P$ działającej przez 10 do 15 sekund,

$d$ — średnia arytmetyczna dwu przekątnych odcisku [mm].

W przybliżeniu

$$HV = 1{,}854 \frac{P}{d^2} \quad [kG/mm^2] \tag{5-16}$$

Norma zawiera tablicę przeliczenia twardości Vickersa z długości przekątnej.

*Próbę twardości metali metodą Rockwella* ustala norma PN-57/H-04355. Próba polega na wciskaniu dwustopniowym stożka diamentowego lub kulki stalowej specjalnego aparatu w powierzchnię metalu i zmierzeniu trwałego przyrostu głębokości odcisku. Kąt wierzchołkowy stożka diamentowego wynosi 120°, a średnica kulki stalowej — 1/16 cala.

Próbę twardości metodą Rockwella można stosować do przedmiotu o grubości wynoszącej nie mniej niż 8-krotna wielkość trwałego przyrostu głębokości odcisku w materiale. Na powierzchni przeciwległej do odcisku nie powinny być widoczne ślady odkształceń.

Jednostką twardości Rockwella jest zagłębienie wynoszące 0,002 mm.

Aparat wyposażony jest w dwie skale — C i B. Skala C służy do pomiaru twardości przy użyciu stożka; twardość oznacza się HRC. Skala B służy do pomiaru twardości przy użyciu kulki stalowej; twardość oznacza się HRB.

Stożek diamentowy stosuje się do pomiaru twardości stali węglowych i stopowych w stanie zahartowanym i ulepszonym cieplnie o twardości od 20 do 67 HRC, kulkę stalową stosuje się do pomiaru twardości stali węglowych i stopowych w stanie zmiękczonym lub normalizowanym oraz stopów metali nieżelaznych o twardości od 35 do 100 HRB.

Próbę twardości metodą Rockwella należy stosować do pomiaru blach o grubości powyżej 1 mm i prętów okrągłych o średnicy powyżej 9 mm.

Opisane próby twardości sposobami: Vickersa, Brinella i Rockwella są zestawione w tablicach porównawczych dla metali, ujętych normą PN-60/H-04357.

Metody oparte na pomiarze odcisków (Vickersa i Brinella) są dokładniejsze od metody opartej na pomiarze głębokości odcisku (Rockwella).

W wyniku przeprowadzonej obróbki cieplnej można spotkać się z takimi wadami, jak przegrzanie materiału, przepalenie, niewłaściwa twardość, zła wytrzymałość, wydłużenie i udarność, odkształcenia i popękania.

Przegrzanie powoduje powstanie gruboziarnistej struktury, która daje kruchość, obniża wytrzymałość na rozciąganie i uderzenie oraz wydłużenie. Materiał przegrzany łatwo łamie się, przełom jest błyszczący, o dużych ziarnach. Lekko przegrzany materiał można naprawić przez wyżarzanie zupełne lub normalizowane.

Przepalenia nie da się naprawić, stal jest bardzo krucha i ma małą wytrzymałość na rozciąganie.

Powodem odkształcenia przedmiotów są naprężenia wewnętrzne. Powstają one wskutek zmian objętościowych materiału podczas obróbki cieplnej spowodowanych nierównomiernym grzaniem lub chłodzeniem oraz zmianą struktury stali. Naprężenia wewnętrzne można wywołać również przed obróbką cieplną spawaniem, obróbką skrawaniem i obróbką plastyczną.

Dlatego ważne jest usunięcie naprężeń wewnętrznych wynikłych z procesów technologicznych jeszcze przed zastosowaniem właściwej obróbki cieplnej. W tym celu stosuje się różne wyżarzania.

Przy stalach stopowych stosuje się wyżarzanie zmiękczające, gdyż wyżarzanie normalizujące powoduje utwardzenie się materiału.

Odkształcenia powstają po przekroczeniu w materiale granicy plastyczności, natomiast jeżeli przekroczona zostanie granica wytrzymałości, powstają pęknięcia.

Pęknięcia powstają wskutek zbyt szybkiego nagrzewania materiału lub podczas chłodzenia przy hartowaniu lub przy nieodpowiednim kształcie wyrobu.

Znanych jest kilka metod służących do wykrywania wad materiału i pęknięć podczas obróbki cieplnej. Wady zewnętrzne wykrywa się za pomocą trawienia, naftowania i penetracji. Oprócz tego stosowane są metody magnetyczne, radiologiczne i ultradźwiękowe. Metody te są sto-

sowane również przy badaniu złącz spawanych i należą do nieniszczących metod badań, opisanych w podrozdziale 5.3.

Od bardzo dawna stosowana metoda wykrywania pęknięć (nawet wewnętrznych), tzw. próba na dźwięk, może mieć zastosowanie tylko w niektórych przypadkach, gdy kształt przedmiotu pozwala na uderzania lub rzucania na płytę stalową.

### 5.9.3. Nawęglanie

Części szybowca narażone na dużą ścieralność podlegają nawęglaniu (cementowaniu). Nawęglanie jest jednym z rodzajów obróbki cieplno-chemicznej. Jest to obróbka cieplna powodująca zmianę składu chemicznego materiału.

Do nawęglania stosuje się stal węglową gatunku 10. Po nawęglaniu stal powinna przejść dalsze procesy obróbki cieplnej, jak hartowanie i odpuszczanie.

Parametry obróbki cieplnej stali węglowej gatunku 10 podano w tablicy 5-25.

Tablica 5-25

**Parametry obróbki cieplnej stali do nawęglania**

| Znak stali | Normalizowanie [°C] | Wyżarzanie zmiękczające | | Nawęglanie [°C] | Hartowanie | | Odpuszczanie [°C] | Twardość po hartowaniu [HRC] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | [°C] | sposób chłodzenia | | [°C] | środek chłodzący | | |
| 10 | 900÷940 | 600÷700 | w powietrzu | 900÷940 | 780÷800 | woda | 150÷180 | warstwa 56÷62 rdzeń max 30 |

Stosuje się kilka sposobów nawęglania: w proszkach, gazowe i za pomocą past.

Najczęściej stosuje się nawęglanie w proszkach. Przedmiot z usuniętymi naprężeniami wewnętrznymi przez normalizowanie obsypuje się w skrzynce stalowej grubą warstwą (około 30 mm) proszku do nawęglania zawierającego głównie węgiel drzewny. Następnie proszek lekko ubija się i przykrywa tacą, po czym skrzynkę przewraca się na tacę i podsusza. Po przygotowaniu w piecu właściwej temperatury skrzynkę wkłada się do komory pieca i nagrzewa. Temperatura nawęglania powinna być utrzymywana z dokładnością ±10°C.

Nawęglanie rozpoczyna się dopiero po osiągnięciu przez przedmiot właściwej temperatury nawęglania, co trwa 2÷4 godzin.

Po określonym czasie skrzynkę wyciąga się z pieca i studzi na powietrzu.

W podwyższonej temperaturze wprowadza się drogą przenikania węgiel w głąb części obrabianej. Głębokość warstwy nawęglonej zależy od czasu trwania operacji. Orientacyjnie dla grubości warstwy równej 1 mm czas nawęglania wynosi około 6 godzin. Nawęglaniu poddaje się warstwę grubości 0,5÷1,5 mm, a głębsze części przedmiotu pozostawia się nienawęglone; są one stosunkowo miękkie i ciągliwe.

Procesy hartowania i odpuszczania przedmiotów nawęglonych umożliwiają polepszenie struktury wewnętrznej oraz utwardzenie warstwy zewnętrznej. Odpuszczanie należy wykonać bezpośrednio po zahartowaniu. Czas odpuszczania powinien wynosić 2÷4 godzin.

Niewłaściwe parametry nawęglania, jak za wysoka temperatura i za szybkie chłodzenie, powodują brak powiązania warstwy wierzchniej z rdzeniem, a wynikiem tego są odpryski i łuszczenie się.

### 5.9.4. Obróbka cieplna metali nieżelaznych

Poważną pozycję w materiałach stosowanych do konstrukcji szybowców zajmują metale nieżelazne, a w nich aluminium i stopy aluminium. Używane są: aluminium — cecha Al oraz stopy aluminium — PA1, PA4, PA6 i PA7. Skład chemiczny wymienionych materiałów podano w tablicy 5-26. W procesach wykonywania części stosuje się obróbkę cieplną.

Podobnie jak przy obróbce cieplnej stali każdy proces technologiczny składa się z trzech etapów: nagrzewania, wygrzewania i chłodzenia. Wszystkie etapy przebiegają w określonym czasie. Rozróżnia się następujące rodzaje obróbki cieplnej stopów lekkich:

— wyżarzanie,
— przesycanie,
— starzenie.

Określenia poszczególnych rodzajów obróbki cieplnej ustala norma PN-66/H-01200. Do produkcji szybowców stosuje się najczęściej stopy aluminium walcowane na zimno oraz ciągnione. Materiał może występować w różnych stanach kwalifikacyjnych. Stosuje się wyroby wyżarzone (miękkie) lub utwardzone dyspersyjnie (twarde).

Utwardzenie dyspersyjne jest to połączenie zabiegów przesycania i starzenia.

Przesycanie polega na nagrzaniu przedmiotu wykonanego ze stopu aluminium do temperatury nieco powyżej stanu nasycenia roztworu Al i składników stopowych, wygrzaniu w tej temperaturze i następnym szybkim ostudzeniu w wodzie lub w oleju. Celem tej obróbki jest zatrzymanie rozpuszczonego składnika stopowego, np. Cu lub Si, w roztworze stopu stałym przesyconym, czyli bogatym w składniki.

Starzenie polega na nagrzaniu uprzednio przesyconego stopu aluminium do temperatury 100÷170°C, w której wydziela się w odpowiednim stopniu dyspersji (czyli rozproszenia) twardy składnik stopowy, np. Cu lub Si, znajdujący się w roztworze stałym przesyconym, wygrzaniu w tej temperaturze i następnym chłodzeniu. Celem tej obróbki jest otrzymanie stopu o dobrych własnościach wytrzymałościowych bez większego spadku wydłużenia.

Ten sam proces zachodzący w temperaturze otoczenia w ciągu dłuższego czasu nazywa się starzeniem naturalnym (samorzutnym).

Przetrzymywanie przesyconych stopów w temperaturze poniżej 0°C opóźnia zjawisko starzenia samorzutnego.

Stopy lekkie występują w konstrukcjach szybowcowych w postaci blach, rur i prętów.

*Blachy* z aluminium i stopów aluminium dla przemysłu lotniczego ustalają normy PN-59/H-92745 i PN-59/H-92746. Według normy PN-59/H-92745 blachy mające cechę A1 (znak Al 99,5) i PA1 (znak AlMn1) mogą być dostarczane w stanie wyżarzonym, półtwardym i twardym. Stan wyżarzony uzyskuje się wskutek obróbki cieplnej, natomiast stan pół-

Tablica 5.26

Skład chemiczny aluminium według PN-64/H-82160 oraz stopów aluminium według PN-59/H-88025

| Znak | Cecha | Skład chemiczny w % | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | składniki stopowe | | | | dopuszczalne zanieczyszczenia | | | | | | | | | |
| | | Al | Cu | Mg | Mn | Si | Fe | Cu | Ni | Fe+Ni | Zn | Mg | Ti | Inne zanieczysz. | Suma |
| Al 99,5 | Al | 99,5 | | | | 0,3 | 0,3 | 0,02 | | | 0,06 | | 0,03 | | 0,5 |
| Al Mn1 | PA1 | reszta | | | 1,0 ÷ ÷1,6 | 0,6 | 0,7 | 0,2 | | | 0,1 | 0,05 | | 0,1 | 1,75 |
| AlMgSiMn | PA4 | „ | | 0,7 ÷ ÷1,2 | 0,6 ÷ ÷1,0 | 0,7 ÷ ÷1,2 | 0,5 | 0,1 | | | 0,2 | | | 0,1 | 0,8 |
| AlCu4MgMn | PA6 | „ | 3,8 ÷ ÷4,8 | 0,4 ÷ ÷0,8 | 0,4 ÷ ÷0,8 | 0,7 | 0,7 | | 0,1 | 0,7 | 0,3 | | | 0,1 | 1,8 |
| AlCu4Mg1Mn | PA7 | „ | 3,8 ÷ ÷4,9 | 1,2 ÷ ÷1,8 | 0,3 ÷ ÷0,9 | 0,5 | 0,5 | | 0,1 | 0,5 | 0,3 | | | 0,1 | 1,5 |

twardy lub twardy mówi o stopniu utwardzenia przy stanie zgniecionym, uzyskanym bez obróbki cieplnej po zimnej przeróbce plastycznej.

Blachy produkuje się o grubości do 10 mm. Powierzchnie blach powinny być gładkie, bez pęknięć, zawalcowania ciał obcych i pęcherzy. Zależnie od grubości blach ustalone są zalecane wymiary arkusza. Dopuszczalne odchyłki grubości są ujemne od wartości nominalnych.

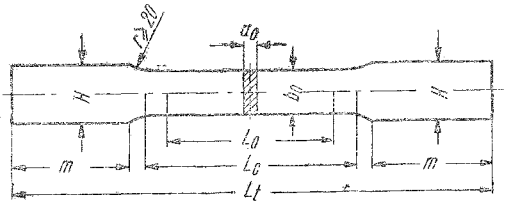
Własności mechaniczne blach w stanie dostawy podano w tablicy 5-27.

Tablica 5-27

**Własności mechaniczne blach z aluminium i stopów aluminium**

| Cecha | Znak | Stan obróbki | Grubość materiału [mm] | Własności mechaniczne | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $R_m$ [kG/mm²] | $R_{0,2}$ [kG/mm²] | $A_{10}$ % [min] |
| Al | Al 99,5 | wyżarzony | 0,5÷0,9 | max 10 | nie określa się | 20 |
| | | | 1,0÷10,0 | max 10 | | 25 |
| | | półtwardy | 0,5÷10,0 | min 11 | | 4 |
| | | twardy | 0,5÷0,9 | min 14 | | 2 |
| | | | 1,0÷10,0 | min 13 | | 2,5 |
| PA1 | Al Mn1 | wyżarzony | 0,3÷3,0 | 10,0÷15,0 | | 22 |
| | | | 3,1÷10,0 | 10,0÷15,0 | | 20 |
| | | półtwardy | 0,3÷6,5 | 15,0÷22,0 | | 6 |
| | | twardy | 0,3÷0,5 | min 19 | | 1 |
| | | | 0,6÷0,8 | min 19 | | 2 |
| | | | 0,9÷1,2 | min 19 | | 3 |
| | | | 1,3÷6,0 | min 19 | | 4 |
| PA4 | Al MgSiMn | wyżarzony | 0,3÷0,5 | max 15 | | 16 |
| | | przesycony i naturalnie starzony | 0,5÷3,0 | min 18 | | 12 |
| | | | 3,0÷10,0 | min 18 | | 12 |
| | | przesycony i sztucznie starzony | 0,5÷3,0 | min 26 | | 10 |
| | | | 0,3÷10,0 | min 26 | | 8 |
| PA6 | Al Cu4MgMn | wyżarzony (M) | 0,3÷3,0 | max 23 | | 12 |
| | | | 3,1÷10,0 | max 24 | | 12 |
| | | przesycony i naturalnie starzony (T) | 0,3÷2,5 | min 37 | 19 | 15 |
| | | | 2,6÷10,0 | min 38 | 20 | 15 |
| PA7 | Al Cu4Mg1Mn | wyżarzony (M) | 0,3÷2,5 | max 23 | | 10 |
| | | | 2,6÷10,0 | max 24 | | 10 |
| | | przesycony i naturalnie starzony (T) | 0,3÷2,5 | min 41,5 | 27,5 | 13 |
| | | | 2,6÷6,0 | min 43,5 | 28,0 | 11 |
| | | | 6,1÷10,0 | min 43,5 | 28,0 | 10 |

Należy zaznaczyć, że podwyższone wytrzymałości w stanie twardym są uzyskane przez zgniot przy walcowaniu. Stopy te nie nadają się natomiast do przesycania po wyżarzeniu. Własności mechaniczne bada się na próbkach pobranych z blach. Blachy poddaje się próbom rozciągania zgodnie z normą PN-62/H-04310, o kształcie jak na rysunku 5-94, oraz tłoczności metodą Erichsena według PN-57/H-04400.




mm

| $a_0$ | $b_0$ | m min | H | $L_0$ | $L_c$ | $L_t$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,1 ÷ 2,0 | 12,5 | 50 | 20 | 50 | 75 | 185 |
| 2,0 ÷ 2,9 | 20 | 50 | 30 | 80 | 120 | 220 |
| 3,0 | 20 | 60 | 30 | 90 | 110 | 260 |
| 4,0 | 20 | 60 | 30 | 100 | 120 | 270 |
| 5,0 | 20 | 60 | 30 | 110 | 130 | 280 |
| 6,0 | 20 | 60 | 30 | 120 | 140 | 290 |
| 8,0 | 30 | 70 | 40 | 170 | 200 | 330 |

*Rys. 5-94. Wymiary próbek płaskich z główkami (powyżej 3,0 mm $L_0$ dla próbki dziesięciokrotnej)*

Norma PN-59/H-92746 ustala blachy platerowane dla lotnictwa ze stopów PA6 i PA7. Blachy są obustronnie platerowane aluminium A1 99,5. Dla blach o grubości do 2,5 mm jednostronna grubość warstwy platerującej powinna wynosić minimum 4%, a dla blach grubszych minimum 2%.

Rozróżnia się trzy rodzaje blach zależnie od jakości powierzchni. Do produkcji części szybowców konstrukcji drewnianej stosuje się blachy K — konstrukcyjne, o normalnej jakości powierzchni. Do produkcji szybowców konstrukcji metalowej stosuje się na pokrycia blachy P — pokryciowe o podwyższonej jakości powierzchni. Blachy mogą być dostarczane w stanie wyżarzonym M lub przesyconym i naturalnie starzonym T. Blachy produkuje się do grubości 10 mm.

Powierzchnie blach powinny być gładkie, bez pęknięć, bez miejsc pozbawionych plateru i pęcherzy. Zasadnicza różnica w jakości powierzchni blach występuje w dopuszczalnej falistości. Na przykład dla blach konstrukcyjnych o grubości 1,6÷4,0 mm dopuszczalne odstawanie blachy od płaszczyzny płyty wynosi 18 mm, podczas gdy dla blach pokryciowych — 8 mm. Zalecane wymiary arkuszy ustalane są zależnie od grubości blach. Dopuszczalne odchyłki grubości są ujemne od wartości nominalnych.

Własności mechaniczne blach w stanie dostawy podano w tablicy 5-27. Blachy poddaje się próbom rozciągania zgodnie z normą PN-62/H-04310, o kształcie jak na rysunku 5-94.

Używa się również blach ogólnego stosowania — cecha PA4 według normy PN-56/H-92742 oraz PA7-T według normy PN-64/H-92744.

Jak widać z tablicy 5-27, stop PA4 jest pośrednim pomiędzy stopami słabymi a mającymi wysoką wytrzymałość, poza tym odznacza się jeszcze dobrą spawalnością przy spawaniu gazowym.

Stop PA7-T według normy PN-64/H-92744 jest używany w blachach powyżej 10 mm grubości. Blachy są walcowane na gorąco.

Pręty z aluminium i stopów aluminium dla przemysłu lotniczego ustala norma PN-60/H-93670. Rozróżnia się pręty ciągnione i wyciskane. Pręty dostarcza się w stanie wyżarzonym, ciągnionym (surowym), przesyconym i naturalnie starzonym lub starzonym w podwyższonej temperaturze.

Pręty ciągnione są produkowane do średnicy równej 50 mm, a wyciskane — do 200 mm. Odchyłki na średnicach są ujemne. Długość prętów zależy od ich średnicy; długość cienkich prętów dochodzi do 6 m, a grubych do 3 m. Pręty ciągnione mają mniejszą dopuszczalną krzywiznę na długości 1 m niż pręty wyciskane.

Do produkcji części szybowcowych używa się prętów ciągnionych przesyconych i naturalnie starzonych, a przy średnicach powyżej 50 mm — prętów wyciskanych.

Własności mechaniczne prętów podano w tablicy 5-28.

Tablica 5-28

**Własności mechaniczne prętów z aluminium i stopów aluminium**

| Cecha materiału | Stan kwalifikacyjny | Średnica [mm] | $R_m$ [kG/mm$^2$] | $R_e$ [kG/mm$^2$] | $A_5$ % [min] |
|---|---|---|---|---|---|
| PA4 | dyspersyjnie utwardzony (T) | do 60 | min 20 | — | 12 |
| PA7 | przesycony i naturalnie starzony (T) | do 22 | min 40 | 26 | 12 |
| | | 25—160 | min 43 | 28 | 10 |
| | | powyżej 160 | min 42 | 26 | 5 |

Badania wytrzymałościowe przeprowadza się na próbkach na rozciąganie według normy PN-62/H-04310. Kształt próbki został podany na rysunku 5-88.

Używa się również prętów ogólnego stosowania cecha PA4 według normy PN-62/H-93667.

Rury z aluminium i stopów aluminium dla przemysłu lotniczego ustala norma BN-64/0836-05. Rury dostarcza się w postaci ciągnionej w stanie wyżarzonym, półtwardym i twardym oraz dyspersyjnie utwardzonym.

Do produkcji części szybowcowych stosuje się rury ciągnione, dyspersyjnie utwardzone. Powierzchnia rur może wykazywać nieznaczne wady o głębokościach w granicach dopuszczalnych odchyłek dla grubości ścianki. Wymiarami nominalnymi są średnica zewnętrzna i grubość ścian-

ki. Produkuje się rury o ściankach od 0,5 mm grubości, o średnicy od 4 mm. Dopuszczalne odchyłki średnicy zewnętrznej są ujemne, natomiast odchyłki grubości ścianki są dodatnie i ujemne.

Długości fabrykacyjne rur wynoszą od 2 do 5,5 m. Dopuszczalna krzywizna rur nie powinna przekraczać 1 mm na 1 m rury. Własności mechaniczne rur podano w tablicy 5-29.

Tablica 5-29

**Własności mechaniczne rur z aluminium i stopów aluminium**

| Cecha | Stan kwalifikacyjny | Wymiary rur [mm] | | $R_m$ kG/mm² | $R_e$ kG/mm² | $A_{10}$ % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | średnica zewnętrzna | grubość ścianki | | | |
| PA4 | dyspersyjnie utwardzony (T) | wszystkie wymiary | | 21 | — | 14 |
| PA7 | wyżarzony (M) | wszystkie wymiary | | max 25 | — | 10 |
| | dyspersyjnie utwardzony (T) | do 22 | do 5 | min 42 | 26 | 14 |
| | dyspersyjnie utwardzony (T) | 22÷50 | do 5 | min 43 | 29 | 12 |

Badania własności wytrzymałościowych przeprowadza się na próbkach na rozciąganie ustalonych normą PN-62/H-04310. Kształt próbki został podany na rysunku 5-92.

Używa się również rur ogólnego stosowania cecha PA4 według normy PN-62/H-74592.

Podobnie jak przy wyrobach stalowych stosowanie obróbki cieplnej stopów aluminium ma dwa główne cele: pierwszy to przygotowanie materiału do obróbki plastycznej oraz przywracanie materiałom żądanych własności po wykonaniu obróbki plastycznej, drugi to zapewnienie częściom wykonywanym przez konstruktora żądanej wytrzymałości.

Przy zamawianiu materiałów do magazynu należy kierować się zasadą przeprowadzania jak najmniejszej liczby operacji cieplnych w produkcji. Stąd też najlepiej jest, jeśli daną część da się wykonać na zimno z materiału o stanie kwalifikacyjnym żądanym przez konstruktora.

W przypadku materiałów twardych nie zawsze jest to możliwe ze względu na małe promienie gięcia, właściwość sprężynowania materiału itp. Znormalizowane promienie gięcia blach na podstawie minimalnych promieni dla stosowanych materiałów podano w tablicy 5-6. Wówczas wykonanie trzeba rozpocząć od materiału miękkiego, a we własnym zakresie należy go doprowadzić do stanu twardego. Zdarza się, że magazyn dysponuje tylko jednym stanem kwalifikacyjnym materiału, wówczas konieczne jest prowadzenie zarówno procesów zmiękczających, czyli wyżarzania, jak i utwardzania dyspersyjnego (przesycanie i starzenie).

Wyżarzanie można przeprowadzać zarówno w stosunku do materiałów utwardzonych przez obróbkę plastyczną na zimno (walcowanie), jak i przez obróbkę cieplną. Parametry obróbki cieplnej stopów aluminium podano w tablicy 5-30.

Tablica 5-36

Parametry obróbki cieplnej stopów aluminium

| Cecha | Wyżarzanie wysokie dla PA1 pełne dla PA4, PA6, PA7 | | | Wyżarzanie niskie dla PA1 skrócone dla PA4, PA6, PA7 | | | Utwardzanie dyspersyjne ze starzeniem naturalnym | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | temperatura [°C] | czas wygrzewania [h] | ośrodek chłodzący | temperatura [°C] | czas wygrzewania [h] | ośrodek chłodzący | temperatura przesycania [°C] | grubość materiału [mm] | piec powietrzny | wanna solna |
| PA1 | 350÷450 | do pełnego nagrzania | powietrze | 250÷280 | 1÷2,5 | powietrze | — | — | — | — |
| PA4 | 350÷370 | 1,5 | do 200°C z piecem, potem w powietrzu | | | | 515÷525 | do 1,2 | 10÷12 | 5 |
| | | | | | | | | 1,3÷1,9 | 15÷20 | 7 |
| PA6 | 390÷450 | 0,2÷1 | do 260°C z piecem 30°/h potem w powietrzu | 350÷370 | 2÷4 | powietrze lub woda | 495÷510 | | | |
| | | | | | | | | 2,0÷3,9 | 20÷25 | 10 |
| PA7 | 390÷450 | 0,2÷1 | do 260°C z piecem 30°/h potem w powietrzu | 350÷370 | 2÷4 | powietrze lub woda | 495÷505 | | | |
| | | | | | | | | 4,0÷10 | 35÷40 | 20 |

Jeżeli potrzebne jest osiągnięcie całkowitej plastyczności materiału i utraty twardości, należy stosować wyżarzanie wysokie dla materiałów nie ulepszanych cieplnie (PA1) i wyżarzanie pełne dla materiałów ulepszanych cieplnie (PA4, PA6, PA7).

Do osiągnięcia częściowej plastyczności z zachowaniem częściowej twardości stosuje się wyżarzanie niskie dla materiałów nie ulepszanych cieplnie (PA1) i wyżarzanie skrócone dla materiałów ulepszanych cieplnie (PA4, PA6, PA7).

Do wyżarzania stosuje się piece elektryczne z wymuszonym obiegiem powietrza. Piec powinien mieć stałą temperaturę w przestrzeni roboczej, różnica zaś nie powinna wynosić więcej niż 25°C.

Studzenie po wygrzaniu części przez odpowiedni okres czasu powinno się odbywać powoli, gdyż przy szybkim studzeniu może nastąpić utwardzanie się.

Omawiane materiały mają małą odporność na korozję w stanie wyżarzonym. Stopy wyżarzone można ponownie utwardzać.

Jeżeli w czasie wykonywania części materiał stracił swoje własności wytrzymałościowe, trzeba go poddać obróbce cieplnej zwanej utwardzaniem dyspersyjnym. Składa się ono z przesycania i starzenia. Definicje obu zabiegów zostały podane poprzednio. Przesycaniu odpowiada przy obróbce stali zabieg hartowania.

Utwardzaniu dyspersyjnemu może podlegać tylko stop aluminium zawierający dodatkowo Cu, Mg, Si, które powodują zwiększenie twardości. Parametry przesycania podano w tablicy 5-29. Temperatura przesycania musi być bardzo dokładnie zachowana, jest to bowiem temperatura najbardziej zbliżona do punktu początku topnienia, w której rozpuszcza się największa ilość składnika stopowego. Przegrzanie materiału powoduje jego kruchość, rysy i pęknięcia powierzchniowe.

Grzanie stopów przeprowadza się w piecach z wymuszonym obiegiem powietrza lub w wannach z kąpielą solną (4 części saletry sodowej i 1 część saletry potasowej) podgrzewanych elektrycznie. Urządzenia muszą być wyposażone w automatyczną regulację temperatury dającą dokładność $\pm 5°C$.

Części przed włożeniem do kąpieli saletrzanej muszą być bardzo starannie oczyszczone, bez śladów wilgoci i tłuszczu, gdyż grozi to wybuchem.

Przedmioty obrabiane wkłada się z wielką szybkością do urządzenia o wymaganej temperaturze. W przypadku pieców z otwieranymi drzwiami stosuje się wyższą temperaturę w przestrzeni roboczej, licząc się z obniżką temperatury po otworzeniu drzwi. Czas grzania zależy od rodzaju stopu i grubości materiału.

Blachy platerowane należy wygrzewać jak najkrócej, gdyż miedź i magnez przenikają do warstwy nałożonego aluminium i obniżają własności ochronne.

Po wytrzymaniu części w odpowiedniej temperaturze wyjmuje się je i natychmiast oziębia w wodzie o temperaturze 20°C.

Pojemność wody musi być tak duża, aby nie podnosiła się temperatura powyżej 50°C. Po oziębieniu przedmiotu następuje okres starzenia materiału. Stopy aluminium mają tę właściwość, że stopniowo same podwyższają swoje własności wytrzymałościowe po przesyceniu (samoulepszanie). W ciągu kilku dni materiał osiąga maksymalną twardość, wytrzymałość na rozrywanie i granicę plastyczności. Wzrost tych własności następuje szybko w pierwszym okresie (około 4 godzin), następnie przebiega wolno. Jest to starzenie samorzutne.

Proces starzenia można przyspieszyć przez sztuczne starzenie polegające na nagrzaniu przesyconego stopu do temperatury 100÷170°C, wygrzaniu w tej temperaturze i chłodzeniu w powietrzu. Sztuczne starzenie ma zastosowanie przy częściach pracujących w podwyższonych temperaturach.

Z rodzajem starzenia wiąże się odporność stopów na korozję. Omawiane stopy wykazują mniejszą odporność w stanie przesyconym i sztucznie starzonym. Proces starzenia można również opóźniać przez przechowywanie części w temperaturze poniżej 0°C.

Właściwości zabiegu stopniowego podwyższania wytrzymałości po przesyceniu wykorzystuje się bardzo często do przeprowadzenia obróbki plastycznej zaraz po przesyceniu. Wówczas materiał jest miękki i ciągliwy.

Jeśli część straciła już swoją plastyczność, a niedokończona została obróbka plastyczna, można powtórzyć proces przesycenia i dokończyć rozpoczęte czynności.

Istnieje zasada, że wszystkie części nośne szybowca są zamontowywane w stanie utwardzonym.

Jak widać, można ten stan osiągnąć trzema drogami:

— zamówić materiał wyżarzony (miękki), wykonać obróbkę plastyczną i utwardzić,
— zamówić materiał utwardzony, wyżarzyć, wykonać obróbkę plastyczną i utwardzić lub
— zamówić materiał utwardzony, przesycić, wykonać obróbkę plastyczną i starzeć naturalnie.

Przy wyborze metody należy brać pod uwagę fakt, że duże arkusze cienkiej blachy w stanie miękkim są bardzo podatne na pogięcie, pofalowanie, porysowanie itd., możliwość przeprowadzania obróbki cieplnej we własnym zakresie oraz stopień przygotowania organizacyjnego produkcji do przeprowadzenia w krótkim czasie wymaganych operacji.

### 5.9.5. Kontrola obróbki cieplnej metali nieżelaznych

Podobnie jak przy obróbce cieplnej stali, kontrola obróbki cieplnej stopów lekkich polega na:

— sprawdzeniu samego przebiegu procesu obróbki cieplnej,
— sprawdzeniu własności mechanicznych,
— wykryciu wad przedmiotu obrobionego.

Sprawdzanie samego przebiegu procesu obróbki cieplnej dotyczy stosowanych temperatur, czasu grzania i chłodzenia.

Sprawdzanie własności mechanicznych dokonuje się za pomocą próby wzorców kontrolnych na rozciąganie, według normy PN-62/H-04310. Badanie próbek przeprowadza się po starzeniu.

Do głównych wad obróbki cieplnej należy zaliczyć przegrzanie materiału, złe własności mechaniczne, pęknięcia i rysy powierzchniowe.

Objawów przegrzania materiału należy szukać w pęknięciach i rysach powierzchniowych, a nie w złej wytrzymałości, gdyż materiał przegrzany wykazuje dużą wytrzymałość przy znacznej kruchości. Badanie przeprowadza się za pomocą mikroanalizy.

## 5.10. KOROZJA METALI

Szybowiec eksploatowany jest w różnych warunkach, toteż jego konstrukcja musi być zabezpieczona przed korozją. Korozją nazywa się niszczenie tworzywa pod wpływem otaczającego środowiska.

Zasadniczą korozję wywołują takie czynniki, jak powietrze i wilgoć. Istnieją oprócz tego czynniki uboczne, które przyspieszają korozję; do nich można zaliczyć agresywne gazy i pary oraz kurz. Kurz zbiera wilgoć, w której rozpuszczają się gazy i pary. Intensywność korozji zależy od temperatury i wilgotności ośrodka. Również rozpuszczona w wilgoci powietrza sól przyspiesza korozję. Należy zaznaczyć, że łatwo ulegają korozji części źle oczyszczone po różnych procesach technologicznych, takich jak spawanie, obróbka cieplna, trawienia, odtłuszczanie, pokrywanie galwaniczne. Po tych procesach mogą gromadzić się pozostałości w miejscach zakrytych, trudno dostępnych, w połączeniach, szczelinach itp.

Ze względu na rodzaj czynników wpływających na korozję sprzętu można przyjąć następujący podział warunków jego eksploatacji:

a) warunki dobre — zamknięte pomieszczenia bez agresywnych gazów i o małych wahaniach wilgotności oraz temperatury,

b) warunki średnie — atmosfera miast o słabo rozwiniętym przemyśle, obszary przymorskie, pomieszczenia o zmiennej temperaturze i wilgotności,

c) warunki średnie — atmosfera miast o silnie rozwiniętym przemyśle, klimat wilgotny, zamknięte pomieszczenia o dużej ilości gazów spalinowych, atmosfera nasycona oparami i mgłą wody morskiej, działanie pyłu i częsty dotyk.

Korozja zawsze zaczyna się tworzyć na powierzchni i postępuje w głąb metalu. Powoduje ona zmianę wyglądu powierzchni metalu oraz obniżenie wytrzymałości i plastyczności.

Korozja powstaje wskutek chemicznego lub elektrochemicznego oddziaływania środowiska zewnętrznego.

W wyniku działania środowiska chemicznego na powierzchni metalu przebiega chemiczna reakcja wielofazowa, w której metal przechodzi w stan utleniony. Na powierzchni metalu tworzą się warstewki ochronne. Najczęściej są to krystaliczne postacie tlenków metali.

Zależnie od tego, czy wytworzona wstępnie warstewka tlenku jest szczelna, dalszy proces korozji może ulec zahamowaniu, jak np. na aluminium. W przypadku zaś stali np. sztucznie wytworzona warstwa w procesie fosforanowania jest bardzo gąbczasta i dlatego musi być nasycona smarem lub powłokami lakierniczymi.

Korozja elektrochemiczna powstaje w związku z przepływem prądu elektrycznego i zmianami chemicznymi, jakie pod wpływem tego prądu zachodzą na powierzchni metali. Szybkość korozji elektrochemicznej zależy od natężenia prądu, płynącego między anodą a katodą. Elektrolitem może być w tym przypadku woda deszczowa, woda morska, wilgoć, kwasy i zasady. Opisanemu zjawisku towarzyszy rozpuszczanie się metalu w miejscach anodowych i przesuwanie jego cząsteczek (jonów) w kierunku miejsc katodowych.

Zależnie od rozmiarów powierzchni przedmiotu spotyka się korozję ogólną i miejscową. Korozja ogólna może być równomierna i nierównomierna, zaś korozja miejscowa może mieć odmianę korozji plamowej, wżerowej, punktowej, międzykrystalicznej i podpowierzchniowej.

Korozja równomierna, inaczej zwana powierzchniową, jest najmniej groźna, może wystąpić w obecności elektrolitu lub na powierzchni metalu pokrytego warstwą tlenku. Powoduje zmianę wyglądu powierzchni przedmiotu.

Korozja wżerowa jest bardzo niebezpieczna, gdyż może przejść na wylot np. blachy i spowodować nieszczelność.

Korozja międzykrystaliczna jest najniebezpieczniejsza, gdyż jest ukryta wewnątrz materiału. Występuje w materiałach niejednorodnych (stopy aluminiowe, mosiądze).

Obok czynników chemicznych i elektrochemicznych wpływ na korozję mają również czynniki mechaniczne działające na metal. Stąd też istnieje korozja naprężeniowa związana z odkształceniami mechanicznymi lub obróbką plastyczną, nitowaniem lub spawaniem. Objawia się ona rysami przebiegającymi międzykrystalicznie lub poprzez ziarna metalu.

Istnieje też korozja zmęczeniowa, kawitacyjna, cierna, elektrokorozja (np. działanie prądów wirowych), a nawet biologiczna.

Sprzęt chroni się przed korozją we wszystkich okresach jego wytwarzania. Mamy więc konserwację międzyoperacyjną części w toku produkcji, konserwację czasową części na okres magazynowania i transportu oraz właściwe pokrywanie ochronne zabezpieczające sprzęt w czasie eksploatacji.

Konserwację międzyoperacyjną stosuje się bezpośrednio po przeprowadzeniu procesu, w którym odkrywa się wierzchnią warstwę metalu. Występuje to podczas obróbki mechanicznej jak również po piaskowaniu.

Jednym ze stosowanych środków konserwacji międzyoperacyjnej jest kompozycja specjalnego koncentratu W5 z olejami.

Kąpiel w składzie: koncentrat W5 8÷10%, olej napędowy lub nafta 90÷92%, jest stosowana do konserwacji osuszającej (również wypiera wodę) w trakcie wykonywania przedmiotu. Stoiska z kąpielą rozmieszcza się między poszczególnymi obrabiarkami. Kąpiel zabezpiecza przedmiot od korozji na 15 dni. Na okres kontroli ostatecznej przedmiot należy wymyć w benzynie B-70 i osuszyć suchym sprężonym powietrzem.

Po odbiorze przez kontrolę techniczną należy przedmiot znów przemyć i odtłuścić chemicznie, osuszyć w podanej uprzednio kąpieli i zakonserwować w następującej kąpieli:

— koncentrat W5 — 8÷10%,
— olej napędowy lub nafta — 75÷82%,
— olej turbinowy lub izolacyjny — 10÷15%.

Koncentrat W5 należy wlewać cienkim strumieniem do wanny zawierającej olej napędowy i jednocześnie mieszać.

Konserwacja zabezpiecza części od korozji na okres 30 dni.

Innym środkiem okresowej konserwacji międzyoperacyjnej jest np. płyn pod nazwą Dewatol 1. Służy on oprócz tego do celów odwodnienia i osuszenia części oraz oczyszczenia z resztek wodnych roztworów soli hartowniczych, smarów, olejów i emulsji obróbkowych.

Części przeznaczone do odwodnienia zanurza się na okres kilku sekund do naczynia z cieczą w normalnej temperaturze, po czym po wyjęciu lekko wstrząsa się i pozostawia do obcieknięcia. Woda zostaje wyparta z powierzchni metalicznej i ścieka kroplami na dno zbiornika.

Jeżeli konieczne jest jednoczesne odwodnienie i odczyszczenie ze smarów lub olejów, ciecz należy lekko ogrzać do temperatury 60° C i zastosować mycie w dwóch naczyniach — jedno do wstępnego oczyszczenia w małej ilości preparatu. Po zanurzeniu, części dobrze jest lekko wstrząsać. Po tej operacji część jest odczyszczona, odwodniona i zabezpieczona antykorozyjnie na okres kilku tygodni bez dodatkowego stosowania smarów.

Na okres magazynowania i transportu części konserwuje się za pomocą różnych środków ochrony czasowej. Środki te można podzielić na:

— kompozycje uzyskane przez rozpuszczenie różnych składników w odpowiednich mieszaninach rozpuszczalników,
— smary stałe uzyskane przez zagęszczenie olejów mineralnych,
— kompozycje o konsystencji smaru lub oleju z dodatkiem inhibitorów korozji.

Środki te nakłada się przez zanurzenie na zimno, natryskiwanie, zanurzenie do stopionego smaru lub smarowanie. W zależności od rodzaju, warstwy nałożonych środków mogą być grube i twarde o ciemnej barwie, grube i miękkie lub cienkie, miękkie i bezbarwne.

W produkcji szybowców najczęściej są używane środki cienkopowłokowe na bazie lanoliny. Środki te nakłada się przez zanurzenie, natrysk

lub smarowanie na zimno. Noszą one nazwę fluidoli. Tworzą one cienką, bezbarwną powłokę zawierającą inhibitory korozji, która przewyższa swoimi własnościami oleje rdzochronne, a dorównuje właściwościom grubych powłok smaru mineralnego. Powłokę daje się łatwo zdejmować przez zmycie benzyną lub naftą „Antykor".

Przy konserwowaniu części metalowych środkami ochronnymi obowiązuje konieczność odpowiedniego przygotowania powierzchni. Rozumie się przez to oczyszczenie z tłuszczu, rdzy, brudu, wilgoci, resztek soli hartowniczych, śladów potu z rąk itd.

Z rodziny fluidoli wygodny w stosowaniu jest Fluidol OB-1. Części zanurza się w cieczy umieszczonej w wannie emaliowanej na okres 15÷20 sekund, po wyjęciu zaś pozostawia się do obcieknięcia.

Inne środki konserwujące podano w tablicy 5-31.

Tablica 5-31

Środki konserwujące części metalowe

| Nazwa | Zastosowanie | Sposób nakładania |
|---|---|---|
| Smar TDM według ZN-58/ZPRN/12 | Ochrona długotrwała (kraje trop.) | Zanurzanie na gorąco |
| Smar Antykor ŁT według PN-56/C-96056 | Ochrona długotrwała w warunkach magazynowania | Zanurzanie na gorąco |
| Mieszanka amerykańska nr 10 (import) | Ochrona długotrwała w warunkach morskich | Z rozpuszczalnika przez zanurzanie lub natrysk |
| Wazelina techniczna według PN-57/C-96120 | Ochrona krótkotrwała | Zanurzanie na gorąco |
| Smar lotniczy ochronny SP-1 według PN-54/C-96156 | Ochrona w warunkach magazynowania wewnętrz | Ręcznie przez smarowanie |
| Smar ŁT-1 według PN/C-96134 | Ochrona krótkotrwała w warunkach magazynowania | Ręcznie przez smarowanie |
| Smar karabinowy według PN-57/C-96137 | Ochrona krótkotrwała | Zbryzgiwanie lub nacieranie |
| Smar działowy według PN-57/C-96159 | Ochrona krótkotrwała i międzyoperacyjna | Z rozpuszczalnika przez zanurzenie na zimno lub natrysk |
| Olej wrzecionowy nr 2 według PN-58/C-96070 | Ochrona międzyoperacyjna | Przez zanurzanie, natryskiwanie lub polewanie |

Pokrycia ochronne zabezpieczające sprzęt w czasie eksploatacji dobierane są przez konstruktora w zależności od warunków pracy danej części oraz jej kształtu. Rozróżnia się trzy typy pokryć. Są to:

— pokrycia tlenkowe i fosforanowe,
— pokrywanie metalami,
— pokrycia malarskie.

Pokrycia tlenkowe otrzymuje się drogą chemiczną lub elektrochemiczną w odpowiednich roztworach. Do tej grupy należy anodowanie alumi-

nium i jego stopów, polegające na elektrochemicznym uzyskiwaniu pokryć tlenkowych oraz oksydowanie stali polegające na chemicznym wytworzeniu warstwy tlenku na powierzchni.

Pokrycia fosforanowe uzyskuje się chemicznie. Fosforanowanie stali polega na uzyskiwaniu warstewki fosforanów na powierzchni materiału.

Do pokryć ochronnych należą także pokrycia metalami.

Galwaniczne pokrywanie polega na wydzielaniu na powierzchni przedmiotu warstewki metalu ochronnego z elektrolitu. Przedmiot podłącza się jako katodę, czyli biegun ujemny prądu, natomiast pręt lub blachę z materiału ochronnego (np. cynku) jako anodę. Przez elektrolit przepuszcza się prąd stały. Anoda rozpuszcza się i wzbogaca elektrolit w wydzielane jony. Do tego rodzaju pokryć należy cynkowanie lub kadmowanie stali.

W warunkach atmosfery przemysłowej bardziej odporna jest warstwa cynku, natomiast na działanie wody morskiej bardziej odporna jest warstwa kadmu. Kadm jest znacznie kosztowniejszy od cynku.

Innym sposobem pokrywania ochronnego metalu jest pokrywanie stopionymi metalami przez zanurzanie. Rozpowszechnione jest cynkowanie tzw. ogniowe oraz aluminiowanie. Te rodzaje pokryć nie są często stosowane w konstrukcjach szybowców ze względu na znaczny przyrost grubości (aluminiowanie średnio 80μ, cynkowanie 100÷200μ), nierównomierną, chropowatą powierzchnię oraz trudność pokrywania przedmiotów o skomplikowanych kształtach.

Stosuje się również platerowanie powierzchni blach. Metal ochronny sprasowuje się na gorąco z metalem ochranianym. Powszechnie ma to zastosowanie przy blachach duralowych, które plateruje się w hutach czystym aluminium.

Metalizacja natryskowa, polegająca na rozpylaniu stopionego metalu sprężonym powietrzem, może mieć zastosowanie jedynie przy regeneracji części metalowych o dużych wymiarach.

Ostatnim rodzajem pokrywania ochronnego są pokrycia malarskie. Oprócz ochrony przed korozją pozwalają one nadzwyczaj starannie wykończyć powierzchnie zewnętrzne szybowca i nadać mu estetyczny wygląd. Pokrycia malarskie stosuje się również do pokrywania części drewnianych i metalowych wewnątrz szybowca. W zależności od rodzaju materiału pokrywanego i przeznaczenia dobrane są odpowiednie zestawy malarskie.

Należy zaznaczyć, że bardzo ważny jest właściwy sposób wykonania samego pokrycia. Każda nakładana warstwa ma swoje ścisłe przeznaczenie, poszczególne warstwy muszą być spojone ze sobą i mieć wysoką przyczepność do podłoża. Duże znaczenie ma tutaj należyte przygotowanie powierzchni przed każdym następnym nakładaniem; wiąże się to z zachowaniem wymaganej temperatury, wilgotności, odpylenia oraz czasu schnięcia.

Pokrycia malarskie tworzą szczelną błonę chroniącą powierzchnię przed przenikaniem do niej wilgoci lub innych środków niszczących.

W wyrobach malarskich obowiązują następujące pojęcia:

lakier — wyrób lakierowy, nie pigmentowany, bezbarwny, podbarwiony lub o barwie naturalnej składników błonotwórczych, stanowiący roztwór żywic lub stopów żywic z olejami roślinnymi w lotnych rozpuszczalnikach,

emalia — pigmentowany wyrób lakierowy, którego spoiwem jest lakier,

farba — pigmentowany wyrób lakierowy służący do otrzymywania powłok ochronnych,
grunt — powłoka otrzymana z farb do gruntowania,
podkład — wyrób lakierowy przeznaczony do nakładania na uprzednio zagruntowane i zaszpachlowane podłoże lub powłokę lakierową uprzednio zeszlifowaną; podkład nakłada się przed nałożeniem warstwy wierzchniej pokrycia lakierowego,
szpachlówka — wyrób lakierowy o konsystencji półpłynnej, służący do wyrównywania całej lub części malowanej powierzchni; szpachlówkę nakłada się szpachlą lub natryskuje na zagruntowane podłoże,
kit szpachlowy — wyrób lakierowy o konsystencji pasty, nakładany za pomocą szpachli, służy do wyrównywania dużych zagłębień, szpar itp.

Pokrycia wielowarstwowe składają się z warstwy gruntu, na nią nakłada się warstwy pośrednie (przy wykonywaniu powłok zewnętrznych szybowca) i warstwy nawierzchniowe.

Grunt zapewnia przyczepność następnym warstwom i poprawia własności antykorozyjne pokrycia, zaś kit szpachlowy i szpachlówka pozwalają wyrównywać powierzchnię zagruntowaną.

Warstwy pośrednie mają własności odbijania promieni słonecznych, a szczególnie nadfioletowych działających niszcząco na pokrycie. Stosowane są emalie z dodatkiem pudru aluminiowego.

Warstwy nawierzchniowe chronią powierzchnię przed czynnikami zewnętrznymi, dają żądane zabarwienie oraz połysk lub matowość.

## 5.11. POKRYCIA OCHRONNE

### 5.11.1. Cynkowanie stali

Cynkowanie jest typowym procesem galwanicznym zabezpieczającym powierzchnie stalowe od korozji. Jest ono stosowane na równi z kadmowaniem do zabezpieczania części łączących, jak śruby, nakrętki, podkładki, sworznie itp. Oprócz tego cynkowanie stosuje się do zabezpieczania części blaszanych. Zaletą cynkowania jest, oprócz dobrej odporności na korozję, możliwość pokrywania całej powierzchni wraz z narożami i otworami cienką warstewką. Grubość nakładanej warstwy zależy od stopnia zagrożenia korozyjnego.

Żądane grubości pokrycia cynkowego wynoszą:
— warunki dobre — 3÷ 7 mikronów,
— warunki średnie — 7÷15 mikronów,
— warunki ciężkie — 15÷30 mikronów.

*Uwaga.* Pierwsze cyfry odnoszą się do części małych pokrywanych w kielichach i bębnach, a drugie — do części większych pokrywanych w wannach i na wieszakach.

Proces cynkowania można podzielić na kilka oddzielnych etapów. Pierwszy etap to przygotowanie powierzchni. Powierzchnię należy przygotować zarówno sposobem mechanicznym, jak i chemicznym. Części poddaje się piaskowaniu w celu usunięcia rdzy, zendry, zabrudzeń smarami lub farbami oraz bębnowaniu w trocinach bukowych w celu uzyskania powierzchni czystej, gładkiej i błyszczącej. Można również powierzchnię szczotkować szczotkami drucianymi. Niezależnie od oczyszczenia

mechanicznego części poddaje się odtłuszczaniu fizycznemu w parach trójchloroetylenu (tri) i odtłuszczaniu chemicznemu (alkaliczne).

Skład kąpieli alkalicznej jest następujący:

— wodorotlenek sodowy — NaOH — 70 g/l,
— fosforan trójsodowy — $Na_3PO_4$ — 70 g/l,
— węglan sodowy — $Na_2CO_3$ — 50 g/l,
— szkło wodne sodowe — $Na_2SiO_3$ — 30 g/l.

Proces odtłuszczania alkalicznego przeprowadza się w temperaturze 80°C. Można powiedzieć, że właściwe przygotowanie powierzchni decyduje o jakości całego procesu cynkowania.

Po odtłuszczaniu stosuje się proces trawienia (dekapowania) w kąpieli składającej się z 70 g/l kwasu siarkowego ($H_2SO_4$) i 30 g/l stężonego kwasu solnego (HCl) oraz neutralizowania w kąpieli o 50 g/l węglanu sodowego ($Na_2CO_3$). Po każdym procesie następuje dokładne wymycie części w wodzie.

Następnym etapem omawianego procesu jest właściwy proces cynkowania. Proces ten prowadzi się w kąpieli cyjankalicznej w temperaturze 15÷25°C przy napięciu 6 V i natężeniu prądu stałego równego 1÷3 A/dm$^2$. Czas przetrzymania w kąpieli zależy od żądanej grubości warstwy cynku. Skład kąpieli jest następujący:

— tlenek cynkowy (ZnO) — 45 g/l,
— cyjanek sodowy (NaCN) — 120 g/l,
— wodorotlenek sodowy (NaOH) — 100 g/l,
— siarczek sodowy ($Na_2S$) — 5 g/l.

Ostatnim etapem procesu cynkowania jest obróbka wykończająca. Zalicza się do niej rozjaśnianie. Rozjaśnianie odbywa się w kąpieli zawierającej 30 g/l stężonego kwasu azotowego $HNO_3$. Proces odbywa się w temperaturze pokojowej.

Opisanym procesom towarzyszy zawsze dokładne wymycie części w zimnej bieżącej wodzie.

Sam proces galwanicznego cynkowania przynosi z sobą zawodorowanie stali. Jest to zjawisko szkodliwe ze względu na pogorszenie własności wytrzymałościowych materiału, szczególnie jego odporności zmęczeniowej i sprężystości. Stąd też konieczne jest odwodorowywanie. Polega ono na powolnym wygrzewaniu części pocynkowanych w suszarce z wymuszonym obiegiem powietrza w temperaturze 230÷250°C przez okres 2 godzin.

W celu ułatwienia kontroli wzrokowej, czy dana część przeszła proces odwodorowania, znaczy się część pocynkowaną w odpowiednim miejscu emalią czułą na podany zakres temperatur, np. emalią czerwoną A13F o symbolu 25/04/125F. Na części odwodorowanej znak z emalii zmienia barwę na brązową.

Następną operacją wykończeniową jest obrabianie w roztworze kwasu siarkowego w celu aktywowania powierzchni. Część należy opłukać w zimnej bieżącej wodzie i zanurzyć w wodnym roztworze kwasu siarkowego ($H_2SO_4$ — 20 g/l) w temperaturze pokojowej.

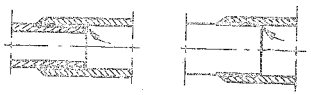
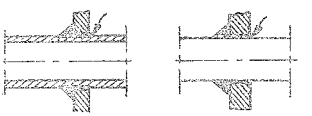
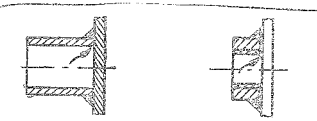
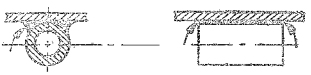
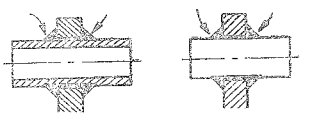
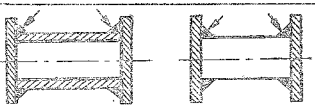
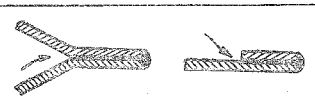
Ostatnią operacją jest pasywowanie, czyli uszczelnianie powierzchni. Odbywa się to w roztworze chromowym o następującym składzie:

— dwuchromian sodowy ($Na_2Cr_2O_7$) — 200 g/l,
— kwas siarkowy ($H_2SO_4$) — 20 g/l.

Proces prowadzi się w temperaturze pokojowej. Obu ostatnim procesom towarzyszy dokładne mycie w zimnej, bieżącej wodzie.

Nie wszystkie części stalowe nadają się do cynkowania. Części spawane, takie jak dźwignie skrzynkowe, okucia pudełkowe, rury skrętne z konsolami, wysięgniki rurowe z przyspawanymi ramionami nie nadają się do cynkowania ze względu na niemożliwość dostatecznego wypłukania pozostałości po poszczególnych kąpielach. Spawanie jest nieszczelne, nie zawsze jest wymagane kładzenie szwu na całej długości, elementy spawane tworzą między sobą ciasne naroża.

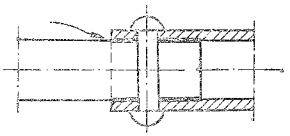
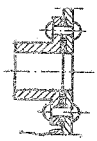
Nie nadają się również części zgrzewane punktowo lub liniowo, części nitowane, części złączone z różnych materiałów oraz zespoły skręcone za pomocą śrub, nitów, klinów itp. Przykłady fragmentów rozwiązań konstrukcyjnych nie nadających się do cynkowania podano na rysunkach 5-95 i 5-96.

| Przykład | Opis | Przyczyna korozji |
|---|---|---|
|  | spawana rura lub pręt w rurze | otwarta szczelina |
|  | spawana rura lub pręt w blasze | otwarta szczelina |
|  | spawana rura lub nakrętka do blachy | otwarta szczelina |
|  | przypawana rura do blachy | otwarta szczelina |
|  | wspawana rura lub pręt do blachy | nieszczelność spoiny |
|  | zaspawana rura lub pręt blachami | nieszczelność spoiny |
|  | spawanie blachy jednostronnie | otwarta szczelina |

*Rys. 5-95. Przykłady spawanych fragmentów konstrukcyjnych nie nadających się do cynkowania i anodowania*

Innym ograniczeniem stosowania cynkowania jest trudna obrabialność części pocynkowanych. Powłoka cynkowa jest miękka i zdjęcie jej powoduje w przypadku szlifowania szybkie zaklejanie się tarczy szlifierskiej.

W częściach ściśle współpracujących ze sobą — pasowanych — nie

| Przykład | Opis | Przyczyna korozji |
|---|---|---|
| | nitowanie blachy | otwarta szczelina |
|  | nitowana rura z prętem | otwarta szczelina |
|  | nitowana część z blachą | otwarta szczelina |
| | zgrzewana podkładka z blachą | otwarta szczelina |
| | zgrzewane blachy | otwarta szczelina |
| | lutowana podkładka z blachą | otwarta szczelina |

*Rys. 5-96. Przykłady nitowanych, zgrzewanych i lutowanych fragmentów konstrukcyjnych nie nadających się do cynkowania i anodowania*

można stosować cynkowania, gdyż zmienia ono uzyskane wymiary obróbką mechaniczną. Również gwintów pasowanych nie można pokrywać dodatkową warstwą cynku. Wszystkie te części nadają się do oksydowania chemicznego, które nie powoduje przyrostu grubości części obrobionej.

Inne ograniczenie wynika z samego procesu galwanicznego; pokrycie cynkiem wnętrza rur lub części o długich otworach wymagałoby wprowadzenia do wnętrza specjalnych anod w postaci pręta lub drutu.

W częściach o skomplikowanych kształtach może wytworzyć się kieszeń gazowa uniemożliwiająca pokrycie warstwą cynku.

Trzeba również pamiętać, że części cynkowane wiesza się na wieszaku w wannie i miejsca zawieszenia nie pokrywa warstwa cynku.

Drobne części, jak śruby, nakrętki, podkładki itp. cynkuje się w kielichach lub bębnach obrotowych nie wymagających zawieszania w kąpieli.

Badania powłok cynkowych przeprowadza się przez oględziny zewnętrzne. Oprócz tego przeprowadza się próbę kruchości i przyczepności oraz pomiar grubości i szczelności.

Kruchość spowodowaną zawodorowaniem sprawdza się na próbkach-świadkach przez wyginanie. Przyczepność sprawdza się na blachach przez wielokrotne przeginanie, na drutach — przez nawinięcie na sworzniu o średnicy równej pięciu średnicom drutu, a na przedmiotach grubościennych — przez skrobanie tępym przedmiotem.

Pomiar grubości przeprowadza się metodą kroplową. Jest to metoda niszcząca. Metoda kroplowa ujęta w PN-61/H-04618 polega na rozpuszczeniu powłoki odpowiednim roztworem nanoszonym w jedno miejsce kroplomierzem po jednej kropli. Krople pozostawia się na pokryciu w tym samym okresie czasu, a następnie ściera. Czynność powtarza się aż do ukazania się metalu podłoża. Grubość powłoki oblicza się z ilości zużytych kropli roztworu.

Próba szczelności ujęta w PN/H-04613 jest metodą niszczącą. Powłokę bada się za pomocą anodowego działania prądu. Wyrób wiesza się w ustalonym roztworze i łączy z odpowiednimi biegunami. Anodowe działanie prądu daje barwne związki z jonami żelaza. W miejscach porów występują po elektrolizie niebieskie punkty. Szczelność powłoki określa się liczbą porów na 1 $cm^2$.

### 5.11.2. Oksydowanie chemiczne stali

Oksydowanie polega na wytworzeniu na powierzchni materiału warstwy tlenku. Należy zwrócić uwagę, że proces oksydowania nie nadaje się do ochrony trwałej. Można go stosować tylko na tych częściach, które będą podlegały okresowemu przeglądowi i konserwacji.

Przed przystąpieniem do właściwego oksydowania, części muszą być starannie przygotowane. Przygotowanie polega na piaskowaniu lub bębnowaniu oraz odtłuszczaniu. Część poddaje się najpierw odtłuszczaniu fizycznemu w trójchloroetylenie (tri) i suszeniu, następnie odtłuszczaniu chemicznemu w kąpieli alkalicznej i płukaniu w bieżącej wodzie.

Skład kąpieli alkalicznej jest następujący:

— wodorotlenek sodowy (NAOH) — 70 g/l,
— fosforan trójsodowy ($Na_3PO_4$) — 70 g/l,
— węglan sodowy ($Na_2CO_3$) — 50 g/l,
— szkło wodne sodowe ($Na_2SiO_3$) — 30 g/l.

Kąpiel powinna mieć temperaturę 80°C. Odtłuszczać należy przez 15 minut. Sprawdzeniem dobrego odtłuszczenia jest całkowite zwilżenie powierzchni przedmiotu bez miejscowych oczek i plam.

Procesem przygotowawczym do samego oksydowania, polegającym na usunięciu śladów korozji i tlenków, jest trawienie. Trawienie należy prowadzić przez 1÷5 min w 15% wodnym roztworze kwasu solnego HCl w temperaturze pokojowej. Po trawieniu części należy dokładnie wypłukać w bieżącej wodzie. Ze względu na możliwość niedokładnego wypłukania roztworu kwasu solnego do oksydowania nadają się tylko części pojedyncze, nie spawane, nie zgrzewane punktowo, nie nitowane. Części nie mogą mieć głębokich kieszeni, zagiętych kanałów itp., z których nie dałoby się wypłukać składników korozyjnych kąpieli.

Sam proces oksydowania chemicznego należy prowadzić w kąpieli z preparatem „Oksydal". Preparat ten produkowany jest w postaci stałej. Należy go rozdrobnić, wsypać do wanny i zalać wodą w stosunku 1:1 (lub 6:5 przy oksydowaniu stali stopowej). Następnie kąpiel ogrzać do temperatury 135÷140°C i umieścić w niej pokrywane przedmioty przez 30÷÷45 min. Po wyjęciu, części należy wypłukać w bieżącej wodzie, a potem wygotować we wrzącym wodnym roztworze mydła sodowego (rozgotowane 20÷30 g mydła twardego w 1 litrze wody destylowanej). Następnie części należy wypłukać w wodzie i wysuszyć w temperaturze około 100°C.

Części oksydowane chemicznie mają czarną powłokę, w przypadku zaś stali stopowych mogą mieć odcień brązowy.

Ostatnią czynnością przy oksydowaniu jest natłuszczanie. Natłuszczanie jest konieczne ze względu na wypełnienie wszystkich porów powstałych w powłoce. Natłuszcza się olejami maszynowymi lub lnianymi ogrzanymi do temperatury 100÷115°C. Części natłuszczone przeciera się flanelą.

Odporność na korozję sprawdza się przez zastosowanie metody kroplowej. Kropla 0,1 n kwasu siarkowego naniesiona na powłokę nie powinna w ciągu kilkunastu sekund wywołać pojawienia się metalu.

Sprawdzenie szczelności pokrycia polega na zanurzeniu części w 3% wodnym roztworze siarczanu miedzi zobojętnionym tlenkiem miedziowym CuO. Po 30 sekundach przedmiot wyjmuje się, przemywa wodą i osusza. Na powierzchni nie powinno być miejsc miedziowanych.

### 5.11.3. Anodowanie stopów lekkich

Anodowanie jest powszechnie stosowanym sposobem zabezpieczania części z aluminium i jego stopów od korozji. Proces polega na elektrochemicznym naniesieniu na powierzchnię przedmiotu warstewki tlenku o grubości 10÷15 mikronów.

Proces anodowania można podzielić na trzy oddzielne etapy.

Pierwszy etap to przygotowanie powierzchni. Części z aluminium i jego stopów nie można piaskować (z wyjątkiem odlewów), należy tylko usunąć ewentualne zabrudzenia smarami lub farbami sposobem mechanicznym, a następnie odtłuszczać fizycznie w parach trójchloroetylenu (tri) i odtłuszczać chemicznie (alkalicznie) z jednoczesnym trawieniem. Skład kąpieli jest następujący:

— wodorotlenek sodowy (NaOH) — 200 g/l,
— chromian sodowy ($Na_2CrO_4$) — 20 g/l.

Proces prowadzi się w temperaturze 50÷80°C w czasie 15 sek do 2 min, po czym część należy wypłukać w gorącej wodzie. Nie wolno dopuścić do zakwaszenia tri, gdyż wówczas reaguje on z aluminium i wydziela się wodór, co może doprowadzić do wybuchu.

Po odtłuszczeniu i trawieniu stosuje się proces zobojętniania w 20% kwasie azotowym ($HNO_3$) i płukanie w bieżącej zimnej wodzie.

Teraz następuje drugi etap — właściwe anodowanie. Proces prowadzi się w kąpieli o temperaturze pokojowej o składzie 200 g/l kwasu siarkowego stężonego ($H_2SO_4$) przy napięciu prądu stałego około 10 V i gęstości prądu 1÷2 A/dm². Przedmiot zawiesza się na szynie anodowej (biegun dodatni). Za katody służą płyty ołowiane lub grafitowe. Przedmioty nie mogą stykać się z katodą. Czas przetrzymania w kąpieli wynosi około 20 minut. Następnie części myje się w bieżącej zimnej wodzie. Nałożona warstwa tlenku powinna być bezbarwna, równomiernie nałożona i matowa.

Trzecim etapem omawianego procesu są czynności wykańczające, mające na celu dodatkowe zabezpieczenie przed korozją i uzyskanie ozdobnego wyglądu. Nałożoną warstwę tlenku aluminium, która jest porowata, należy uszczelnić (nasycić). Nasycenie można uzyskać przez gotowanie w wodzie w roztworach nieorganicznych lub organicznych. Najczęściej stosuje się nasycanie połączone z barwieniem na kolor żółtozielony w kąpieli o następującym składzie:

— dwuchromian potasowy ($K_2Cr_2O_7$) — 50 g/l,
— węglan sodowy ($Na_2CO_3$) — do uzyskania pH = 6÷7.

Proces prowadzi się w temperaturze 90÷95° C, następnie części myje się w ciepłej wodzie i suszy.

Aluminium i jego stopy można również barwić i na inny dowolny kolor. Używa się do tego specjalnych barwników, z których przyrządza się kąpiele. Jakość barwienia zależy przede wszystkim od samego anodowania. Powłoka tlenku musi być naniesiona równomiernie, o jednakowej grubości i porowatości. Wady powłoki uwidoczniają się natychmiast w barwieniu w postaci nierównej intensywności barwy.

Do anodowania nie nadają się części złożone z różnych materiałów, nitowane, zgrzewane itd. ze względu na trudność właściwego wypłukania. Przy skomplikowanych kształtach może łatwo wytworzyć się kieszeń gazowa uniemożliwiająca pokrycie warstwą tlenku.

Pokrycie wnętrza rur lub długich otworów wymaga zastosowania specjalnych katod. Do anodowania nadają się wszystkie części łączące, jak śruby, nakrętki, podkładki.

Powłoki tlenków bada się po anodowaniu, przed uszczelnianiem i barwieniem, przez oględziny zewnętrzne, a oprócz tego przez próby grubości, odporności na korozję i szczelności.

Pomiar grubości można przeprowadzić różnymi sposobami zależnie od tego, czy ma to być próba niszcząca czy nieniszcząca. Do metody niszczącej należy pomiar mikroskopowy szlifu poprzecznego, który nie nadaje się przy produkcji seryjnej, oraz metoda chemiczno-kroplowa. Pomiary nieniszczące wymagają specjalnych urządzeń laboratoryjnych opartych na pomiarze napięcia przebijającego warstewkę oraz na pomiarze oporności. W praktyce pomiar grubości powłoki można zastąpić pomiarem odporności na korozję.

Pomiar odporności przeprowadza się przed uszczelnianiem metodą kroplową polegającą na rozpuszczeniu powłoki odpowiednim roztworem nanoszonym w jedno miejsce kroplomierzem. Roztwór ten ma następujący skład:
— dwuchromian potasowy ($K_2Cr_2O_7$) — 3 g,
— kwas solny 1,19 (HCl) — 25 ml,
— woda — 75 ml.

Warstwa tlenku jest wystarczająco odporna na korozję, jeżeli czas, po którym zmieni się barwa roztworu z pomarańczowego na zieloną nie będzie krótszy, w temperaturze pokojowej, niż 8 minut dla blach platerowanych i 5 minut dla metalu nieplaterowanego.

Badanie szczelności warstwy tlenku przeprowadza się przez zanurzenie próbki w roztworze wodnym o następującym składzie:
— kwas octowy ($CH_3 \cdot COOH$) — 6%,
— siarczan miedziowy ($CuSO_4$) — 0,5%,
— chlorek cynkowy ($ZnCl_2$) — 1,5%.

W miejscach porów wydziela się metaliczna miedź w postaci czerwonobrązowych plam. Szczelność powłoki jest wystarczająca, jeśli po 3 minutach próby na powierzchni 25 $cm^2$ nie wystąpi więcej niż 5 punktów nieszczelności.

### 5.11.4. Ochrona stopów magnezowych

Stosowanie w konstrukcji szybowców odlewów ze stopów magnezowych związane jest z koniecznością dokonywania odpowiednich czynności konserwacyjnych.

Po odlaniu odlew może przebywać bez oczyszczania najwyżej dwie doby, a w ciągu najdalej czterech dób powinien być zabezpieczony przed korozją. Zabezpieczenie polega na wytworzeniu na powierzchni odlewu błonki oksydacyjnej oraz nałożeniu odpowiedniego smaru lub zestawu malarskiego.

Pierwszą czynnością procesu oksydowania jest należyte przygotowanie powierzchni, polegające na jej odtłuszczeniu. Odtłuszczanie przeprowadza się chemicznie w kąpieli alkalicznej o następującym składzie:
— fosforan trójsodowy ($Na_3PO_4$) — 40÷60 g/l,
— wodorotlenek sodowy (NaOH) — 10÷25 g/l,
— szkło wodne sodowe ($Na_2SiO_3$) — 20÷30 g/l.

Kąpiel powinna mieć temperaturę 60÷90°C. Czas obróbki 5÷15 minut. Następnie części przemywa się w bieżącej, gorącej wodzie, a potem w zimnej i poddaje procesowi rozjaśniania przez zanurzenie w roztworze o temperaturze 15÷30° zawierającym 150÷250 g/l bezwodnika kwasu chromowego ($CrO_3$). Po kolejnym przemyciu części w zimnej bieżącej wodzie następuje właściwe oksydowanie, które polega na zanurzeniu części na 10÷12 min w roztworze o temperaturze 15÷30°C zawierającym 3,5÷4% fluorku sodu (NaF) lub 5% fluorku potasu (KF).

Po przemyciu w zimnej wodzie bieżącej, a później w ciepłej wodzie następuje nasycanie (uszczelnianie). Wykonuje się to w roztworze o temperaturze 90÷100°C w ciągu 20÷30 min, zawierającym 80÷100 g/l dwuchromianu potasowego ($K_2Cr_2O_7$). Części nie suszy się przed nasycaniem. Po nasyceniu część należy przemyć w zimnej bieżącej wodzie, a następnie w gorącej o temperaturze nie niższej niż 50°C.

Tak zabezpieczoną część poddaje się obróbce malarskiej. Należy ją przeprowadzić najdalej w ciągu jednej doby. Polega ona na nałożeniu na czystą powierzchnię podkładu syntetycznego żółtego AŁG-1 (symbol wyrobu 25/21/124). Nakłada się go za pomocą natrysku, stosując lepkość 30÷62 sek według kubka Forda Ø 4 mm.

Po wysuszeniu w ciągu 12 godzin w temperaturze pokojowej kładzie się „międzywarstwę" przyrządzoną z tego samego podkładu AŁG-1 z dodatkiem 10% pudru aluminiowego, stosując też natrysk.

Po wysuszeniu w ciągu 40 godzin w temperaturze pokojowej i odpyleniu nakłada się emalię nawierzchniową olejną specjalną granatową (symbol wyrobu 25/52/125 F). Przeprowadza się to natryskiem przy lepkości 50÷90 sek według kubka Forda $\phi$ 4 mm. Suszenie trwa 36 godzin w temperaturze pokojowej.

Odlewy wykonane ze stopów magnezowych najczęściej podlegają jeszcze dodatkowej obróbce wiórowej. Wówczas nie maluje się je, lecz obrabia z samą błonką oksydacyjną. Odlewy pokryte błonką, przechowywane w magazynie jako półfabrykaty, należy zakonserwować przez smarowanie.

Do zakonserwowania odlewów na okres jednego do dwóch miesięcy używa się oleju wrzecionowego, transformatorowego lub lotniczego ogrzanego do temperatury 60÷70°C.

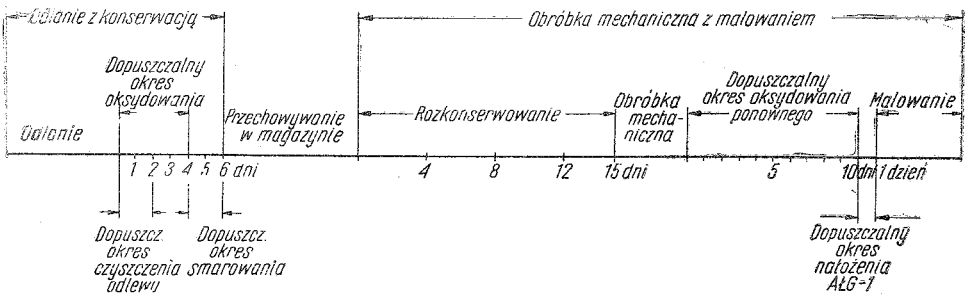
Przy dłuższym okresie konserwowania należy użyć smaru armatniego. Smar nagrzewa się do temperatury 110÷115°C i w nim zanurza się odlew na taki okres czasu, aby nastąpiło całkowite przegrzanie materiału. Następnie część zanurza się powtórnie w smarze armatnim nagrzanym do temperatury 60÷70°C, po czym chłodzi się w temperaturze pokojowej.

Smarowanie powinno odbyć się najdalej w ciągu dwóch dób po oksydowaniu.

Przed przystąpieniem do obróbki wiórowej odlew rozkonserwowuje się przez zdjęcie powłoki smarowej. Odlew rozkonserwowany nie powinien leżeć dłużej niż 15 dni. Sam proces obrabiania mechanicznego należy prowadzić przy zachowaniu wszystkich przeciwpożarowych środków ostrożności. Obróbkę prowadzi się na sucho bez stosowania smarów i cieczy chłodzących. Podłogi pomieszczeń zamiata się przy użyciu wilgotnych trocin bez używania wody.

W czasie obrabiania następuje zdjęcie błonki oksydacyjnej. Należy ją najdalej w ciągu 10 dni uzupełnić przez ponowne oksydowanie całej części. Jeżeli zdarzy się, że odlew po upływie 10 dni nie jest jeszcze całkowicie obrobiony, to proces oksydowania należy również zastosować i obrabiać przedmiot dalej. Po zakończeniu obróbki mechanicznej odlew należy jeszcze raz oksydować.

Dopuszczalne okresy przetrzymywania odlewu w różnych stadiach produkcji podano schematycznie na rysunku 5-97.




*Rys. 5-97. Dopuszczalne okresy przetrzymywania odlewu magnezowego*

Jeżeli część zabezpieczoną oksydowaniem trzeba jeszcze obrobić w jakimś miejscu, a nie da się jej już wyciągnąć z zestawu, to po jej obróbce powierzchnię można oksydować miejscowo. Najpierw powierzchnię należy odtłuścić benzyną i osuszyć, następnie przetrzeć tamponem z waty zamoczonym w roztworze o temperaturze pokojowej zawierającym 20 g/l kwasu selenawego $H_2SeO_3$ i 10 g/l dwuchromianu sodowego $Na_2Cr_2O_7$.

### 5.11.5. Powłoki malarskie części metalowych

W szybowcu części metalowe zabezpieczone są antykorozyjnie. Części stalowe cynkuje się lub pokrywa powłokami lakierniczymi.

Aby powłoka ochronna spełniła swój właściwy cel, muszą być zachowane podstawowe wymagania odnoszące się przede wszystkim do należytego przygotowania powierzchni. Źle przygotowane podłoże pod pokrycie powoduje nie tylko wcześniejsze zniszczenie nałożonej powłoki, ale wywołuje korozję podpowłokową, która jest niewykrywalna podczas normalnego przeglądu.

Do należytego przygotowania podłoża zalicza się usunięcie wszelkich zanieczyszczeń oraz tzw. rozwinięcie powierzchni w celu zwiększenia przyczepności nakładanych warstw. Do przygotowania zalicza się również wytworzenie na oczyszczonej powierzchni nieorganicznej warstwy ochronnej za pomocą fosforanowania.

Podstawowym procesem przygotowawczym jest piaskowanie. Części stalowe powinny mieć powierzchnie metaliczne czyste bez śladów rdzy, zgorzeliny i innych zanieczyszczeń. Z kilku rodzajów ścierniwa stosuje się piasek kwarcowy lub krzemowy o wielkości ziarna równej 0,5÷1,5 mm. Zużycie piasku wynosi 4 kG/m³ powietrza przy odpadzie równym 10%. Ciśnienie powietrza zależnie od grubości przedmiotów waha się około 3 at. Dysze powinny być oddalone o około 200 mm od przedmiotu.

Bardzo ważne jest zabezpieczenie świeżo oczyszczonej powierzchni ze względu na zwiększoną aktywność korozyjną. Po zakończeniu piaskowania trzeba część dokładnie odpylić sprężonym powietrzem (ok. 2 atn) i w ciągu najwyżej 3 godzin nałożyć następną warstwę przewidzianą w procesie malowania. Istnieją środki chemiczne, które pozwalają skutecznie zabezpieczać międzyoperacyjnie oczyszczone powierzchnie.

Przedmiotów świeżo opiaskowanych nie należy dotykać gołymi rękami. Na powierzchni opiaskowanej średnia wysokość nierówności $R_z$ według PN-58/M-04251 nie powinna przekraczać 1/3 przewidzianej grubości pokrycia malarskiego.

Fosforanowanie polega na wytworzeniu na powierzchni metalu warstewki fosforanów grubości około 30 g/m². Warstewka fosforanów ma dużą porowatość, co daje dobrą przyczepność pokryć lakierniczych.

Wanna do fosforanowania powinna być wykonana ze stali kwasoodpornej z ukośnym dnem mającym zbiornik na szlam. Temperatura kąpieli powinna wynosić 92÷96°C. Uzyskuje się ją przez zastosowanie grzejników elektrycznych. Czas fosforanowania wynosi około 15 min. Do przygotowania 100 l kąpieli do fosforanowania należy rozpuścić 9 l fabrycznego roztworu Bonder 20A w około 90 l wody destylowanej i uzupełnić wodą do 100 l. Następnie roztwór ogrzewać do temperatury 98÷99°C, mieszać i pozostawić do wyklarowania. Po obniżeniu temperatury do wymaganej należy sprawdzić stężenie roztworu i „wpracować" kąpiel odtłuszczonymi wiórami stalowymi. Fosforanowane części należy płukać w zimnej wodzie i pasywować (uszczelniać) w roztworze wodnym zawierającym dwuchromian potasu w temperaturze 80°C.

Nakładanie następnych warstw malarskich odbywa się za pomocą natrysku zwykłego, tzn. prowadzonego w temperaturze pokojowej. Metoda ta pozwala na uzyskiwanie równomiernej grubości i gładkości. Stosowane ciśnienie powietrza waha się od 2 do 6 atn. Należy dążyć do stosowania możliwie najniższych ciśnień, gdyż wysokie ciśnienie zwiększa ilość materiału rozpylanego, która jest i tak duża przy tej metodzie. Właściwą lepkość uzyskuje się przez stosowanie odpowiednich rozcieńczalników.

Przy natrysku ważne jest oczyszczanie sprężonego powietrza. Musi ono być odwodnione i odoliwione oraz pozbawione zanieczyszczeń mechanicznych.

Schematy operacji kilku typów malowań części stalowych podano w tablicach 5-32, 5-33 i 5-34.

Jako podkład pod emalie nawierzchniowe stosowane są: podkład syntetyczny żółty AŁG-1 oraz czerwony tlenkowy 138. Podkład AŁG-1 sporządzony jest na estrach kalafonii z dodatkiem żółcieni cynkowej. Czas suszenia tego podkładu można zmniejszyć przez suszenie w podwyższonej temperaturze. Błona wytrzymuje ogrzewanie do temperatury 120°C. Podkład 138 jest podkładem glifalowym pigmentowanym minią żelazną z dodatkiem innych pigmentów o zabarwieniu brązowym.

W zależności od posiadanych możliwości wykonawczych stosuje się emalie nawierzchniowe schnące na powietrzu lub w piecu.

Tablica 5-32

Schemat operacji malowania części stalowych emalią syntetyczną schnącą na powietrzu

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Odtłuścić | Zmywacz tri lub benzyna ekstrakcyjna | | | | |
| 2 | Piaskować powierzchnie | Piasek korundowy lub kwarcowy o ziarnistości 0,3 do 0,8 | — | 2÷4 | | |
| 3 | Odpylić | | | | | |
| 4 | Fosforanować | Kąpiel Bonder 20 A — bez odtłuszczania alkalicznego i trawienia w kwasach. Dwuchromian potasu | | | | |
| 5 | Natrysnąć 1× pistoletem podkład. Suszyć | Podkład syntetyczny żółty AŁG-1. Symbol wyrobu 25/21/124 | 25÷35 (110÷160 w stanie dostawy) | 3÷4 | 18÷20 lub 60÷70 | 3 h lub 30 min |
| 6 | Szlifować. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 320 | | | | |
| 7 | Natrysnąć 1× pistoletem warstwę emalii. Suszyć | Emalia syntetyczna specjalna dla lotnictwa. Symbol wyrobu 25/XX/125 | 25÷35 (55÷90 w stanie dostawy) | 3÷4 | 18÷20 | 12 |
| 8 | Odpylić | | | | | |
| 9 | Natrysnąć 1× pistoletem warstwę emalii. Suszyć | Emalia syntetyczna specjalna dla lotnictwa. Symbol wyrobu 25/XX/125 | 25÷35 (55÷90 w stanie dostawy) | 3÷4 | 18÷20 | 36 |

Do emalii schnących na powietrzu należą: emalie syntetyczne, stanowiące zawiesinę pigmentów w spoiwie lakierowym opartym na stopach żywic syntetycznych z dodatkiem lub bez dodatku olejów schnących, oraz emalie poliwinylowe, stanowiące zawiesinę odpowiednich pigmentów w spoiwie opartym na roztworze żywicy poliwinylowej w rozpuszczalnikach organicznych z dodatkiem zmiękczaczy i substancji stabilizujących.

Emalie schnące w piecu są to emalie syntetyczne stanowiące zawiesinę pigmentów w spoiwie lakierowym sporządzonym na żywicach syn-

Tablica 5-33

Schemat operacji malowania części stalowych emalią poliwinylową schnącą na powietrzu

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Odtłuścić | Zmywacz „tri" lub benzyna ekstrakcyjna | | | | |
| 2 | Piaskować powierzchnie | Piasek korundowy lub kwarcowy o ziarnistości 0,3 do 0,8 | — | 2÷4 | | |
| 3 | Odpylić | | | | | |
| 4 | Fosforanować | Kąpiel Bonder 20 A — bez odtłuszczania alkalicznego i trawienia w kwasach. Dwuchromian potasu | | | | |
| 5 | Natrysnąć 1× pistoletem podkład. Suszyć | Podkład syntetyczny schnący w piecu, czerwony tlenkowy 138. Symbol wyrobu 25/43/185 | 22÷24 | 3÷4 | 100÷110 | 0,5 |
| 6 | Szlifować. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 320 | | | | |
| 7 | Natrysnąć 1× pistoletem warstwę emalii. Suszyć | Emalia zewnętrzna poliwinylowa. Symbol wyrobu 34/XX/125 | 25—35 (25÷35 w stanie dostawy) | 3÷4 | 18÷20 | 2 |
| 8 | Odpylić | | | | | |
| 9 | Natrysnąć 1× pistoletem warstwę emalii. Suszyć | Emalia zewnętrzna poliwinylowa. Symbol wyrobu 34/XX/125 | 25÷35 (25÷35 w stanie dostawy) | 3÷4 | 18÷20 | 2 |

tetycznych. Znalazły one zastosowanie w budowie szybowców na wzór pokrywania nimi sprzętu motoryzacyjnego.

Wewnętrzne powierzchnie konstrukcji rurowych odtłuszcza się i pokrywa odpowiednim środkiem antykorozyjnym. Są to środki ochronne opierające się na produktach naftowych, a więc oleje lub smary mineralne, lub na lanolinie z dodatkiem substancji podwyższających jej własności rdzochronne.

Schemat operacji malowania części stalowych emalią syntetyczną schnącą w piecu

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Odtłuścić | Zmywacz „tri" lub benzyna ekstrakcyjna | | | | |
| 2 | Piaskować powierzchnie | Piasek korundowy lub kwarcowy o ziarnistości 0,3 do 0,8 | — | 2÷4 | | |
| 3 | Odpylić | | | | | |
| 4 | Fosforanować | Kąpiel Bonder 20 A bez odtłuszczania alkalicznego i trawienia w kwasach. Dwuchromian potasu | | | | |
| 5 | Natrysnąć 1 × pistoletem podkład. Suszyć | Podkład syntetyczny schnący w piecu, czerwony tlenkowy 138. Symbol wyrobu 25/43/185 | 22÷24 | 3÷4 | 100÷110 | 0,5 |
| 6 | Szlifować. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 320 | | | | |
| 7 | Natrysnąć 1× pistoletem warstwę emalii. Suszyć | Emalia syntetyczna schnąca w piecu „Pololak". Symbol wyrobu 25/XX/182 | 25÷30 | 3÷4 | 120 | 0,75 |
| 8 | Szlifować. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 320 | | | | |
| 9 | Natrysnąć 1× pistoletem warstwę emalii. Suszyć | Emalia syntetyczna schnąca w piecu „Pololak", Symbol wyrobu 25/XX/182 | 25÷30 | 3÷4 | 120 | 0,75 |

Oprócz wymienionych wyrobów lakierniczych do pokrywania zewnętrznego części metalowych stosuje się lakier syntetyczny dekoracyjny dający efekt młotkowania oraz emalie krystaliczne lub marszczone. Schematy operacji malowania tymi wyrobami podano w tablicach 5-35, 5-36 i 5-37.

Wyroby młotkowe produkowane są na bazie spoiwa nitrocelulozowego lub melaminowego i zawierają w swym składzie około 20% pyłu aluminiowego oraz niewielkie ilości oleju silikonowego. Po nałożeniu wyrobu

Tablica 5-35

Schemat operacji malowania dekoracyjnego części stalowych lakierem syntetycznym młotkowym schnącym w piecu

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Odtłuścić | Zmywacz „tri" lub benzyna ekstrakcyjna | | | | |
| 2 | Piaskować powierzchnie | Piasek korundowy lub kwarcowy o ziarnistości 0,3 do 0,8 | — | 2÷4 | | |
| 3 | Odpylić | | | | | |
| 4 | Fosforanować | Kąpiel Bonder 20 A — bez odtłuszczania alkalicznego. Dwuchromian potasu | | | | |
| 5 | Natrysnąć 1× pistoletem podkład. Suszyć | Podkład syntetyczny żółty AŁG-1. Symbol wyrobu 25/21/124 | 25÷35 (110÷160 w stanie dostawy) | 3÷4 | 18÷20 lub 60÷70 | 30 min lub 3 godz |
| 6 | Szlifować. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 320 | | | | |
| 7 | Natrysnąć 1× pistoletem lakier młotkowy. Suszyć | Lakier syntetyczny dekoracyjny młotkowy schnący w piecu. Symbol wyrobu 20/XX/70 | 80÷95 | 3÷4 | 110÷125 | 0,5 |

następuje opadanie pyłu aluminiowego oraz tworzenie się charakterystycznych oczek na powierzchni wskutek hydrofobowego działania cząstek oleju silikonowego.

Natryśnięty w odpowiednim stężeniu lakier dający efekt młotkowania otrzymuje w ciągu 3 min właściwy wzór. Charakter jego zależy od lepkości i grubości naniesionej warstwy. Do rozcieńczenia lakieru stosuje się rozcieńczalnik o symbolu wyrobu 28/00/132.

Drugim stosowanym wyrobem dekoracyjnym jest emalia krystaliczna. Wyroby krystaliczne produkowane są na bazie spoiwa olejowo-żywicznego; w skład spoiwa wchodzi m. in. olej lniany i tungowy oraz żywice syntetyczne. Charakterystyczny wzór zależy od zawartości oleju tungowego. Wyroby te produkowane są zarówno w wersji lakierów bezbarwnych, jak i emalii czarnej.

Pod wpływem gazów spalinowych, a zwłaszcza tlenku węgla (CO) zwiększa się objętość natryśniętej warstwy emalii, co powoduje ułożenie się wierzchniej powierzchni w charakterystyczny wzór podobny do za-

Tablica 5-36

Schemat operacji malowania osłon duralowych emalią syntetyczną krystaliczną schnącą w piecu

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Anodować | | | | | |
| 2 | Odtłuścić, odpylić | Zmywacz „tri" lub benzyna ekstrakcyjna | | | | |
| 3 | Natrysnąć 1× pistoletem podkład. Suszyć | Podkład syntetyczny czarny schnący w piecu. Symbol wyrobu 25/08/185 | 22÷26 | 2,5÷3,5 | 105÷120 | 2 |
| 4 | Szlifować. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 320 | | | | |
| 5 | Natrysnąć 1× pistoletem warstwę emalii krystalicznej | Emalia syntetyczna krystaliczna schnąca w piecu. Symbol wyrobu 25/08/55 | 35÷50 120 (wstanie dostawy) | 2,5÷3,5 | 18÷20 | 0,3 |
| 6 | Umieścić w piecu w atmosferze gazów spalinowych uzyskanych z palników gazowych lub naftowych. Wywołać powłokę krystaliczną | — | — | — | 35÷45 | 0,5 |
| 7 | Suszyć po utworzeniu się powierzchni krystalicznej | — | — | — | 70÷80 | 4 |
| 8 | Suszyć | — | — | — | 120÷130 | 1 |

marzniętej szyby na mrozie. Lepkość i grubość warstwy natryśniętej wpływa na rodzaj wzoru.

Wzór należy wywołać w suszarce, w której u dołu umieszczony jest palnik do spalania z niedomiarem powietrza, gazu świetlnego lub nafty. W czasie tworzenia się kryształów temperatura nie może przekroczyć 60°C, najlepiej jeśli wynosi ona 30°C. Czas wywołania wzoru waha się od 10 do 45 min. Po wywołaniu wzoru należy powłokę suszyć w temperaturze około 120÷130° C w celu utrwalenia rysunku. Źle wywołaną powłokę można zmyć jeszcze przed suszeniem. Wysuszona powłoka emalii

Tablica 5-37

Schemat operacji malowania duralowych tablic przyrządów pokładowych emalią olejną marszczoną

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Anodować | | | | | |
| 2 | Odtłuścić, odpylić | Zmywacz „tri" lub benzyna ekstrakcyjna | | | | |
| 3 | Natrysnąć 1× pistoletem podkład. Suszyć | Podkład syntetyczny czarny schnący w piecu. Symbol wyrobu 25/08/185 | 22÷26 | 2,5÷3,5 | 105÷120 | 2 |
| 4 | Szlifować, odpylić | Papier ścierny o ziarnie 320 | | | | |
| 5 | Natrysnąć 1× pistoletem warstwę emalii marszczonej | Emalia syntetyczna marszczona schnąca w piecu. Symbol wyrobu 25/08/55M | 25÷40 | 2,5÷3,5 | 18÷20 | — |
| 6 | Wywołać wzór powłoki dokładnie utrzymując temperaturę w suszarce | — | — | — | 80±5 | 0,5 |
| 7 | Suszyć | — | — | — | 100 | 1,5÷2 |

krystalicznej nie daje się rozpuszczać. Do rozcieńczenia emalii krystalicznej stosuje się benzynę do lakierów.

Powierzchnia emalii krystalicznej ma duży połysk, co jest niekorzystne przy stosowaniu jej np. do tablicy przyrządów pokładowych. W tym przypadku stosuje się odmianę emalii krystalicznej, tzw. emalię marszczoną. Wzór emalii marszczonej zależy również od lepkości i grubości warstwy nałożonej. Do wywołania wzoru nie są potrzebne gazy spalinowe. Wzór występuje dopiero po wywołaniu w suszarce. Do rozcieńczenia emalii marszczonej stosuje się również benzynę do lakierów.

## 5.12. WARSZTATOWE ŚRODKI MIERNICZE

Warsztatowe środki miernicze służą do mierzenia, czyli porównywania dowolnej wielkości z wielkością przyjętą za jednostkę (długości, czasu, siły itp.).

Jednak każdy pomiar daje tylko przybliżoną wartość mierzonej wielkości, gdyż jest obarczony błędem.

Błąd bezwzględny jest różnicą odczytu i wielkości rzeczywistej; wyrażony jest w jednostkach pomiarowych. Błąd względny jest stosunkiem błędu bezwzględnego do wielkości rzeczywistej; wyraża się liczbą oderwaną lub w procentach. Na przykładzie wygląda to następująco:

— odczyt = 1005 mm,
— wielkość rzeczywista = 1000 mm,
— błąd bezwzględny = 1005 — 1000 = 5 mm,
— błąd względny = $\frac{1005-1000}{1000} = 0{,}005$ lub $\frac{5}{1000} \cdot 100 = 0{,}5\%$

W tym przypadku jest to błąd dodatni; natomiast gdyby odczyt był mniejszy od wielkości rzeczywistej, błąd byłby ujemny.

Błędy pomiarów dzieli się na błędy wskazania i błędy odczytania.

Błędy wskazania są związane z przyrządami mierniczymi, którymi dokonywany był pomiar. Wpływ mają tu takie czynniki, jak temperatura, niedokładność przyrządu mierniczego, zanieczyszczenia i metoda samego pomiaru.

W celu ujednolicenia warunków pomiaru przyjęto za normalną temperaturę odniesienia temperaturę równą 20°C.

Błąd własny przyrządu mierniczego nie powinien być większy niż ±0,2 dopuszczalnego błędu wykonania przedmiotu z uwzględnieniem jego odchyleń od kształtu założonego oraz chropowatości powierzchni.

Błąd odczytania związany jest z nieścisłym odczytaniem wskazania przyrządu. Wpływ mają tu następujące czynniki: błędy osoby odczytującej, wykonanie podziałówki na przyrządzie i oświetlenie.

Konstrukcje przyrządów pomiarowych zmierzają do eliminowania w jak najwyższym stopniu wymienionych błędów odczytania.

Na dokładność pomiaru składa się zatem błąd wskazania i błąd odczytania.

Warsztatowe środki miernicze tworzą bardzo obszerną grupę narzędzi związaną ściśle z produkcją. Można je podzielić na kilka rodzajów w zależności od przeznaczenia. Są to:

1) wzorce kontrolne i użytkowe,
2) przyrządy miernicze,
3) przybory i pomoce miernicze,
4) sprawdziany.

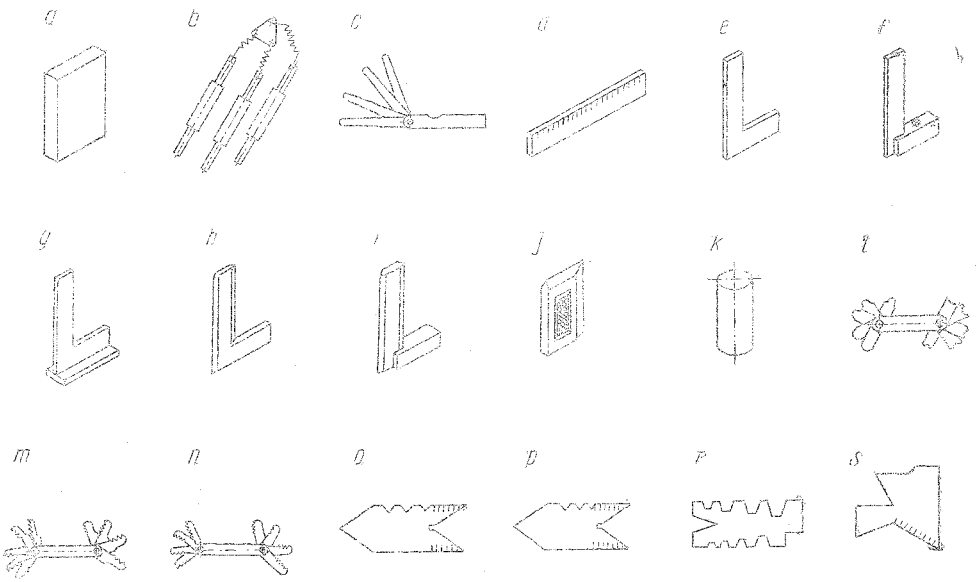
Wzorce kontrolne i użytkowe pokazano na rysunku 5-98.

Płytki wzorcowe są odmagnesowane i bardzo dokładnie dotarte na wymiary nominalne. Gładkość uzyskana z dotarcia umożliwia silne zwarcie płytek między sobą po ich złożeniu. Stąd też płytki można układać w stosy tworzące dowolny wymiar długościowy. Płytki wykonywane są w kompletach. Przy układaniu danego wymiaru należy rozpoczynać składanie od najcieńszych płytek, gdyż łatwiej jest później dobrać płytki o większych wymiarach dopełniających żądaną długość. Dokładność płytek zapewnia dla złożonego stosu odchyłkę ± 1 μ od wymiaru nominalnego.

Wałeczki miernicze produkowane są w kompletach po 3 sztuki jednej wielkości. Wymiary średnic dobrane są do pomiarów gwintów metrycznych i Whitwortha. Oprócz pomiaru gwintów wałeczki służą do pomiaru kątów, pochyleń i stożków.

Kątowniki wykonywane są w różnych odmianach. Krawędzie robocze kątowników są docierane. Najczęściej spotyka się wzorce kąta prostego 90°.

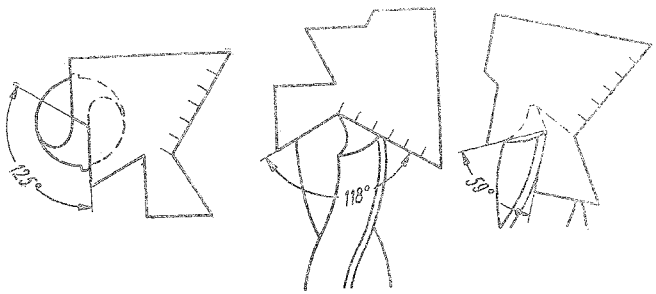
Kątowniki ze ściętą krawędzią służą do bardziej dokładnych pomiarów ze względu na możliwość przybliżenia krawędzi do przedmiotu badanego. Dokładność wykonania kąta prostego mierzona w odległości 100 mm od podstawy waha się w zależności od klasy kątownika w granicach ± 3μ do ± 30 μ.



*Rys. 5-98. Wzorce kontrolne i użytkowe*

*a* — płytka wzorcowa, *b* — wałeczki miernicze, *c* — szczelinomierz, *d* — przymiar kreskowy sztywny, *e* — kątownik 90° płaski, *f* — kątownik 90° z grubym ramieniem, *g* — kątownik 90° ze stopą, *h* — kątownik 90° krawędziowy płaski, *i* — kątownik 90° krawędziowy z grubym ramieniem, *j* — kątownik 90° krawędziowy pełny, *k* — kątownik 90° walcowy, *l* — wzorce łuków kołowych, *m* — wzorce zarysu gwintu metrycznego, *n* — wzorce zarysu gwintu calowego, *o* — wzorce do noży do gwintu metrycznego, *p* — wzorce do noży do gwintu calowego, *r* — wzorce do noży do gwintu trapezowego (30°), *s* — wzorce kątowe do wierteł

Wzorce kształtów wykonywane są z blachy stalowej. Przykład zastosowania wzorca do sprawdzania kątów wiertła spiralnego pokazano na rysunku 5-99.

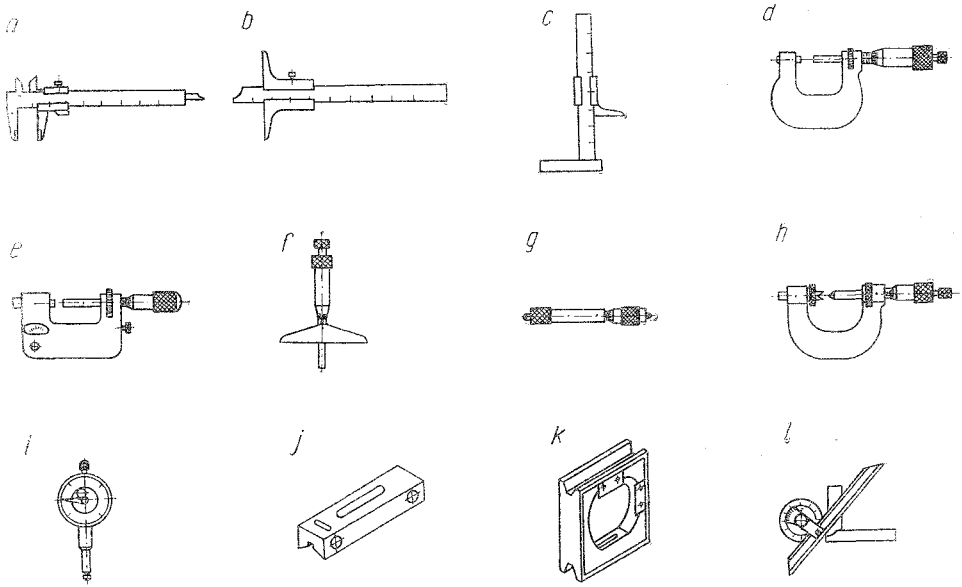



*Rys. 5-99. Wzorzec do sprawdzania kątów wiertła spiralnego*

Przyrządy miernicze ilustruje rysunek 5-100.

Suwmiarki głębokościomierze i wysokościomierze są wyposażone w noniusze, które umożliwiają zwiększenie dokładności odczytań do ± 0,1, a nawet ± 0,05 mm.

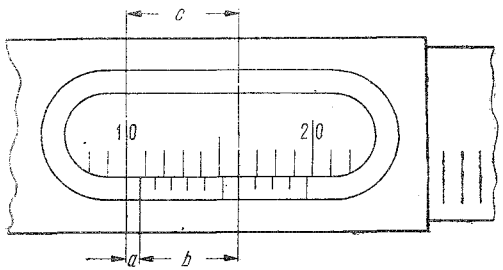
Noniusz służący do odczytywania wymiarów z dokładnością ± 0,1 mm ma podziałkówkę o długości 9 mm podzieloną na 10 równych części, zaś dla dokładności ±0,05 mm podziałówkę o długości 19 mm podzieloną na 20 równych części. W podziałówce o długości 9 mm podzielonej na 10



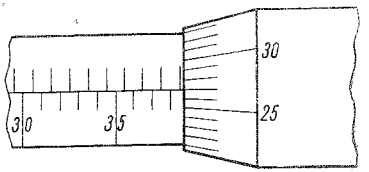

*Rys. 5-100. Przyrządy miernicze*

*a* — suwmiarka z głębokościomierzem, *b* — głębokościomierz suwmiarkowy, *c* — wysokościomierz suwmiarkowy, *d* — mikrometr, *e* — mikrometr czujnikowy, *f* — głębokościomierz mikrometryczny, *g* — średnicówka mikrometryczna, *h* — mikrometr do gwintów, *i* — czujnik zegarowy, *j* — poziomnica wzdłużna dwukierunkowa, *k* — poziomnica ramowa, dwukierunkowa, *l* — kątomierz uniwersalny

części każda działka równa jest 0,9 mm, analogicznie w podziałówce o długości 19 mm działka równa jest 0,95 mm. Z noniusza korzysta się ten sposób, że do wymiaru odczytanego w całkowitych milimetrach dodaje się po przecinku cyfrę, której kreska noniusza tworzy przedłużenie z kreską przymiaru na suwmiarce, jak na rysunku 5-101.




*Rys. 5-101. Noniusz suwmiarki*




*Rys. 5-102. Wskazanie mikrometru*

Na rysunku pokazany jest odczyt mierzonej długości równej 10,6 mm. Według pokazanych odcinków wymiar *a* równy jest *c* — *b*, czyli 6 mm — $-6\times0{,}9$ mm = 6 mm − 5,4 mm = 0,6 mm.

Mikrometry, średnicówki i głębokościomierze mikrometryczne mają ruchomy sworzeń zakończony śrubą o bardzo dokładnie wykonanym gwincie współpracującym z nakrętką umieszczoną wewnątrz korpusu mikrometru. Najczęściej skok śruby równy jest 0,5 mm i zakres pomiarów — 25 mm. Przy skoku śruby 0,5 mm na korpusie nacięta jest podziałówka o działkach równych 0,5 mm. Zatem przy pełnym obrocie sworzeń przesuwa się o 0,5 mm.

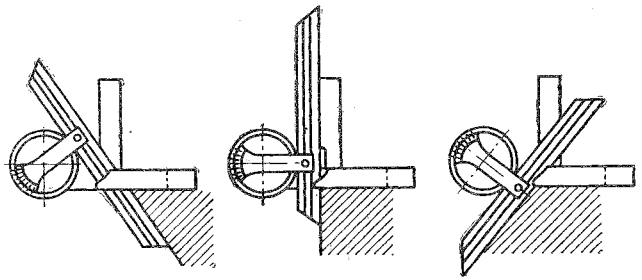
Na obwodzie pokrętła związanego ze śrubą nacięta jest podziałówka. Cały obwód pokrętła podzielony jest na 50 części, więc obrócenie pokrętła o jedną działkę daje przesuw sworznia równy $0{,}5 \text{ mm} \cdot \frac{1}{50} = 0{,}01 \text{ mm}$. Na rysunku 5-102 pokazany jest odczyt mierzonej długości równej 38,77 mm.

Mikrometry wykonywane są z dopuszczalną odchyłką wskazań równą $\pm$ 3 do $\pm$ 6 $\mu$.

Czujniki służą do mierzenia małych odchyłek wymiarowych. Działanie ich opiera się na znacznym powiększaniu przesunięć ruchomego sworznia będącego nóżką pomiarową za pomocą układu dźwigniowego lub przekładni zębatych. Najczęściej spotyka się przełożenie równe 1:100, wówczas przesunięciu sworznia o 0,01 mm odpowiada przesunięcie wskazówki czujnika o jedną działkę.

Poziomnica ma rurkę szklaną, lekko wygiętą, napełnioną eterem lub spirytusem etylowym z pozostawionym pęcherzykiem powietrznym. Przy znajomości promienia krzywizny rurki oraz długości pęcherzyka ustalona jest fabrycznie czułość poziomicy. Czułość wyrażona jest w mm/m i wynosi najczęściej 0,25 lub 0,5 mm na 1 m. Oznacza to, że przy wychyleniu się pęcherzyka o jedną działkę koniec płaszczyzny o długości 1 m, na której leży poziomnica, podniósł się o 0,25 lub 0,5 mm.

Kątomierz uniwersalny ma tarczę z naniesioną podziałkówką kątową, która jest złączona na stałe z kątownikiem. Oprócz tego do tarczy przykręcone jest obrotowo dodatkowe ramię z noniuszem, które można unieruchomić względem osi tarczy kątowej za pomocą śruby zaciskowej. Ramię to można przesuwać wzdłużnie wydłużając lub skracając część pomiarową i unieruchamiać śrubą zaciskową. Przykłady pomiaru różnych kątów podano na rysunku 5-103.



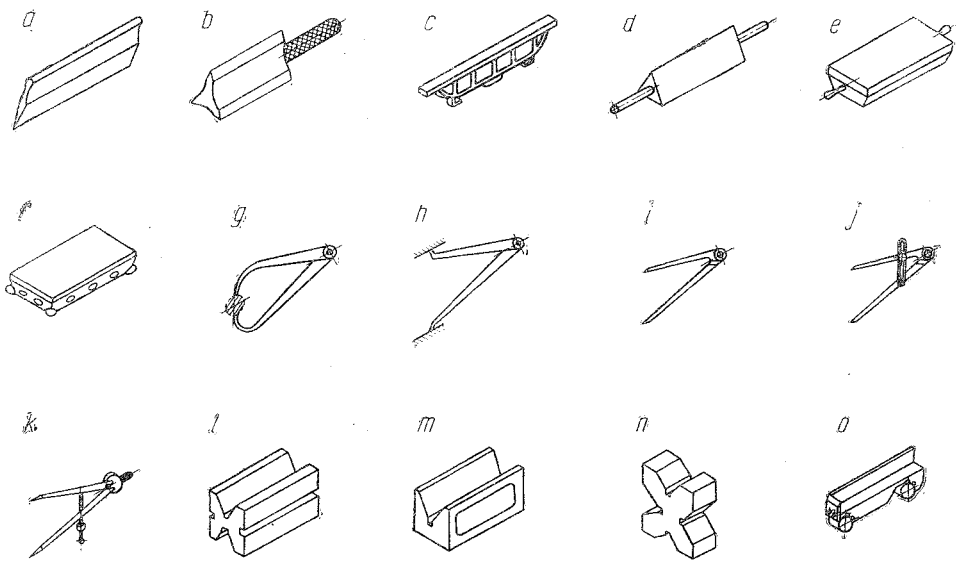
*Rys. 5-103. Pomiary różnych kątów kątomierzem uniwersalnym*

Kątomierz uniwersalny wyposażony jest w noniusz, na którym można odczytać pomiar kątowy do 5'. Zasada odczytu wielkości kąta jest taka sama jak przy noniuszach w suwmiarkach. Kreska „O" noniusza oznacza liczbę stopni, zaś liczbę minut pokazuje kreska noniusza, która tworzy przedłużenie z kreską na tarczy kątowej.

Przybory i pomoce miernicze ilustruje rysunek 5-104.

Liniały miernicze dzielą się na krawędziowe i powierzchniowe.

Liniały krawędziowe wykonywane są ze stali w dwóch klasach dokładności: 0 i I. Wielkości dopuszczalnych odchyleń od prostoliniowości zależą od długości krawędzi mierniczej, np. dla długości 300 mm wynoszą 1 $\mu$ dla klasy 0 i 3 $\mu$ dla klasy I.




*Rys. 5-104. Przybory i pomoce miernicze*

*a* — liniał jednokrawędziowy, *b* — liniał trzykrawędziowy, *c* — liniał powierzchniowy użebrowany, *d* — liniał powierzchniowy trójkątny, *e* — płyta miernicza, *f* — płyta traserska, *g* — macki zewnętrzne, *h* — macki wewnętrzne, *i* — cyrkiel prosty, *j* — cyrkiel prosty z poprzeczką, *k* — cyrkiel prosty sprężynowy, *l* — pryzma szlifierska, *m* — pryzma traserska żłobkowa, *n* — pryzma traserska krzyżowa, *o* — liniał zwykły

Liniały powierzchniowe wykonywane są ze stali w trzech klasach dokładności: I, II i III. Powierzchnie liniałów są skrobane. Dla klasy I w kwadracie 25×25 mm wymaga się nie mniej niż 25 punktów przylegania, dla klasy II nie mniej niż 20, a dla klasy III nie mniej niż 12.

Liniały powierzchniowe trójkątne wykonywane są ze stali w dwóch klasach dokładności: I i II. Dokładność wykonania powierzchni jest taka sama jak dla liniałów powierzchniowych klasy I i II, zaś dokładności wykonania kąta między powierzchniami wynoszą: dla klasy I — ± 5′, dla klasy II — ± 10′.

Do płyt mierniczych zalicza się płyty miernicze stalowe lub żeliwne oraz płyty traserskie. Płyty stalowe są hartowane, odpuszczane i sezonowane. Płyty traserskie są odlewane z żeliwa. Zarówno płyty miernicze żeliwne, jak i płyty traserskie muszą być sezonowane.

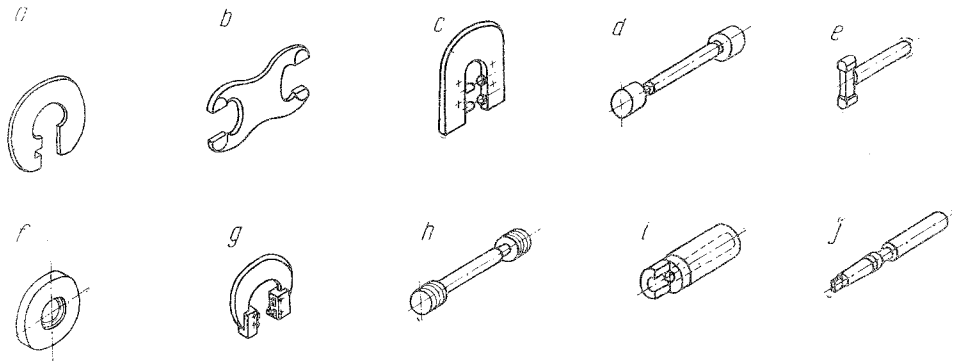
Dopuszczalne błędy płaskości płyt zależą od ich wielkości i klas. Na przykład dla płyty traserskiej o wymiarach 800×1000 mm granice dopuszczalnych błędów płaskości wahają się od 10 do 100 $\mu$. Warunki na skrobanie powierzchni płyt są takie same jak dla liniałów powierzchniowych.

Macki i cyrkle służą do przenoszenia wymiaru z mierzonego przedmiotu na przymiar kreskowy. Cyrkle służą również do kreślenia kół i łu-

ków. Zachowanie wymiaru zapewnia tarcie w przegubie macek i cyrkli. Przy wprawie można ustalać wymiary z dokładnością do ± 0,1 mm. Wykonywane są ze stali, a końce hartowane i odpuszczane.

Pryzmy służą do układania wałków o przekroju walcowym w przestrzeni. Zazwyczaj wałki mocuje się do pryzm za pomocą chomątek ze śrubą. Pryzmy wykonane są z żeliwa lub stali.

Liniały sinusowe służą do pomiaru kątów w wykonanych przedmiotach. Można ustalać kąty zewnętrzne, np. stożków, oraz kąty wewnętrzne, np. otworów stożkowych przez odpowiednie ułożenie przedmiotu na liniale. Pomiaru dokonuje się za pomocą czujnika umieszczonego na statywie i przesuwanego wzdłuż tworzącej stożka. Liniał sinusowy składa się z samego liniału wykonanego z hartowanej stali i dwóch wałków o przekroju walcowym. Dokładność wykonania rozstawu osi wałków zależy od długości liniału. Dla rozstawu 100 mm wynosi ona ± 2μ. Wałki nie mogą mieć większej różnicy wymiarów średnic niż 3 μ.




*Rys. 5-105. Sprawdziany*

*a* — sprawdzian do wałków szczękowy, *b* — sprawdzian do wałków szczękowy dwugraniczny, *c* — sprawdzian do wałków szczękowy, dwugraniczny nastawczy, *d* — sprawdzian do otworów tłoczkowy dwugraniczny, *e* — sprawdzian do otworów łopatkowy nie- i przechodni, *f* — sprawdzian do gwintów zewnętrznych (śrub) pierścieniowy nie- i przechodni, *g* — sprawdzian do gwintów zewnętrznych (śrub) szczękowy dwugraniczny rolkowy, *h* — sprawdzian do gwintów wewnętrznych (nakrętek) trzpieniowy dwugraniczny, *i* — sprawdzian do chwytów narzędziowych stożkowych, *j* — sprawdzian do gniazd narzędziowych stożkowych

Sprawdziany (rys. 5-105) dzielą się na jednograniczne i dwugraniczne.

Sprawdziany jednograniczne mają jeden wymiar: dla wymiarów z zewnątrz obejmowanych — największy dopuszczalny wymiar przedmiotu, zaś dla wymiarów wewnętrznych — najmniejszy dopuszczalny wymiar przedmiotu.

Sprawdziany dwugraniczne mają dwa wymiary: wymiar nominalny z odchyłką górną i wymiar nominalny z odchyłką dolną. Sprawdziany te mają tzw. stronę przechodnią i nieprzechodnią.

Dla sprawdzianu do wałków stroną przechodnią jest wymiar z odchyłką górną, zaś stroną nieprzechodnią — wymiar z odchyłką dolną.

Dla sprawdzianu do otworów stroną przechodnią jest wymiar z odchyłką dolną, zaś stroną nieprzechodnią — wymiar z odchyłką górną.

Strona przechodnia musi zawsze wchodzić lub obejmować przedmiot sprawdzany, a strona nieprzechodnia nie może wchodzić lub obejmować przedmiotu.

Sprawdziany są stalowe, ich powierzchnie robocze są hartowane, szlifowane i docierane.

Rozdział 6

# WYKONYWANIE CZĘŚCI DREWNIANYCH

## 6.1. DREWNO

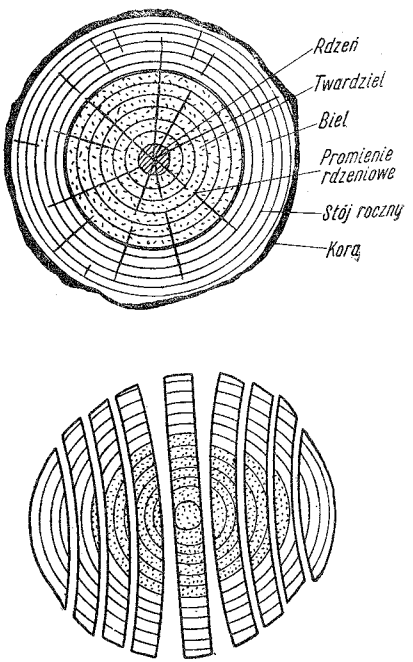
W odróżnieniu od metali, tworzyw sztucznych, gum itd. drewno stosowane do budowy szybowca dostarczane przez tartak jest poddawane odpowiedniej obróbce w zakładzie budowy szybowców.

W budowie szybowców stosuje się drewno sosnowe, jesionowe i lipowe. Drewno sosnowe i jesionowe odznacza się wysoką wytrzymałością właściwą (stosunek wytrzymałości do ciężaru właściwego), podatnością na gięcie i bardzo łatwą obrabialnością. Drewno lipowe ze względu na swój niski ciężar właściwy stosowane jest jako materiał pomocniczy.

Drewno dostarczane jest przez tartak w postaci tarcicy uzyskanej z przetarcia drzewa (rys. 6-1). Tarcica może być dostarczana w postaci desek nieobrzynanych lub obrzynanych (rys. 6-2) oraz bali nieobrzynanych i obrzynanych. Deski mają grubość do 45 mm, bale od 50 do 100 mm.

W drewnie sosnowym odróżnia się twardziel i biel. Twardziel jest częścią środkową drzewa, ma ciemniejszą barwę i mniejszą zawartość wody po ścięciu. Procentowy udział twardzieli i bielu w przekroju drzewa zmienia się z wiekiem. W młodych drzewach większą część powierzchni zajmuje biel, później zwiększa się udział twardzieli. Najodpowiedniejszym wiekiem drzewa do ścięcia jest wiek 100 do 150 lat.

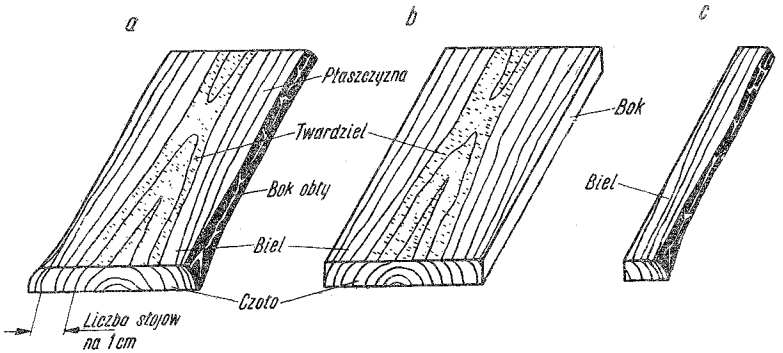
Sosna należy do drzew twardzielowych podobnie jak świerk, dąb lub topola. Świerk i lipa mają twardziel niezabarwioną. Do drzew beztwardzielowych zalicza się brzoza, olcha i grab.




*Rys. 6-1. Tarcica uzyskana z przetarcia drzewa*

W sosnowej tarcicy lotniczej biel powinien być jednolity, mieć wyraźne i równomiernej szerokości słoje roczne, naturalny zapach i barwę.

Twardziel jest nieprzydatna. Na tarcicę lotniczą nadaje się także tarcica wyprodukowana z drewna przechowywanego w wodzie, jak również tarcica z drzew żywicowanych.

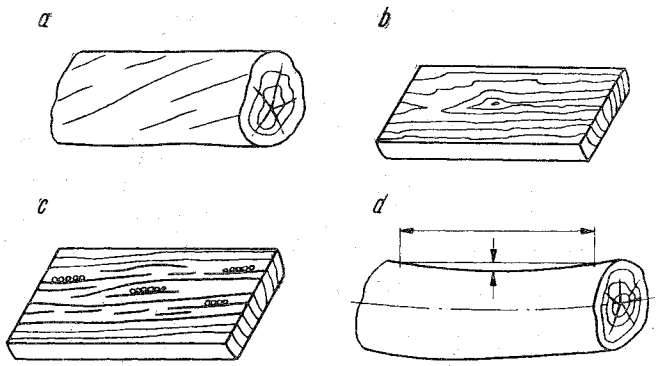



*Rys. 6-2. Rodzaje desek*
*a* — deska nieobrzynana, *b* — deska obrzynana, *c* — deska jednostronnie obrzynana

W jesionowej tarcicy lotniczej dopuszcza się bez ograniczenia biel, twardziel niezabarwioną i twardziel zabarwioną.

Drewno w tartaku jest segregowane. Podstawowym kryterium oceny kategorii tarcicy pod względem struktury jest liczba słojów rocznych na 1 cm przekroju poprzecznego liczona w kierunku promieniowym. Do pierwszej kategorii zalicza się tarcicę sosnową o najmniej 5 słojach na 1 cm bielu, do drugiej kategorii — o najmniej 4 słojach na 1 cm bielu. Tarcica jesionowa obu kategorii nie powinna mieć więcej niż 6 słojów na 1 cm przekroju.

Drewno ma wiele wad. Powstają one w czasie wzrostu drzewa lub w czasie składowania. Niektóre z nich pokazane są na rysunku 6-3.




*Rys. 6-3. Niektóre wady drewna*
*a* — skręt włókien, *b* — falistość, *c* — przeżywiczenie, *d* — krzywizna jednostronna

Według normy PKN/L-19000 lotnicza tarcica sosnowa może mieć następujące wady jakościowe:
— skręt włókien o odchyleniu nie większym niż 1 cm na 1 m długości,

— skośność włókien o odchyleniu od kierunku osiowego nie większym niż 2 cm na 1 m długości,
— falistość regularna (nie splątana) przy wysokości fali nie większej niż 3 mm (falistość mierzy się na powierzchni przekroju poprzecznego wielkością strzałki wygięcia słojów rocznych wzdłuż promienia lub linii zbliżonej do promienia),
— przeżywiczenie o głębokości do 2 mm,
— krzywizna jednostronna o strzałce wygięcia do 2 cm na 1 m długości,
— sęki perłowe (do 6 mm średnicy) zupełnie zdrowe i dobrze zrośnięte z tkanką drzewną,
— nienormalne zabarwienie niegrzybowego pochodzenia w postaci smug i plam,
— sinizna jednostronna lub dwustronna w postaci smug i plam sięgająca do 3 mm głębokości i nie wpadająca w barwę brunatną,
— pęknięcia powierzchniowe siatkowe (słoneczne) do 2 mm głębokości,
— pęknięcia czołowe promieniowe w tarcicy o długości do 2,4 m — do 5 cm, w tarcicy o długości od 2,5 m wzwyż — do 10 cm.

Niedopuszczalne są w lotniczej tarcicy sosnowej:
— skręt włókien o odchyleniu większym niż 1 cm na 1 m długości,
— zawoje,
— sęki zdrowe wrośnięte o średnicy przekraczającej 6 mm,
— sęki zepsute lub luźne oraz otwory po sękach,
— zakorki (zabitki) i pęcherze żywiczne,
— opanowanie przez grzyby z wyjątkiem siniznу,
— otwory po owadach,
— większe pęknięcia niż podano wyżej,
— odłamki metali i uszkodzenia mechaniczne.

Według norm PKN/L-19002 lotnicza tarcica jesionowa może mieć następujące wady jakościowe:
— skręt włókien o odchyleniu nie większym niż 1 cm na 1 m długości,
— falistość regularna (nie splątana) przy wysokości fali nie większej niż 4 mm (falistość mierzy się na powierzchni przekroju poprzecznego wielkością strzałki wygięcia słojów rocznych wzdłuż promienia lub linii zbliżonej do promienia),
— wzorzystość regularna nie dwukierunkowa,
— kąt nachylenia słojów rocznych do lewej płaszczyzny nie mniejszy niż 15°,
— krzywizna jednostronna o strzałce wygięcia do 5 cm na 1 m długości,
— sęki perłowe (do 6 mm średnicy) zupełnie zdrowe dobrze zrośnięte z tkanką drzewną w ilości nie większej niż 1 sęk na 1 m oraz sęczki szpilkowe (do 3 mm średnicy) bez ograniczenia ilości,
— nienormalne zabarwienie niegrzybowego pochodzenia,
— pęknięcia powierzchniowe siatkowe (słoneczne) do 2 mm głębokości,
— pęknięcia czołowe promieniowe o łącznej długości na obu czołach nie większej niż szerokość tarcicy.

Niedopuszczalne są w lotniczej tarcicy jesionowej:
— skręt włókien o odchyleniu większym niż 1 cm na 1 m długości,
— rdzeń i 3÷4 pierwsze słoje partii przyrdzeniowej,
— zawoje,
— sęki zdrowe wrośnięte o średnicy przekraczającej 6 mm,
— sęki zepsute lub luźne oraz otwory po sękach,
— zakorki (zabitki),
— opanowanie przez grzyby (wszelkie formy murszu),

— otwory po owadach,
— większe pęknięcia niż podane wyżej,
— nieregularność w budowie słojów rocznych (kamienny słój, splątana falistość, poprzeczny słój, wyraźna dwukierunkowa wzorzystość),
— odłamki metali i uszkodzenia mechaniczne.

Oprócz wymagań dotyczących struktury drewna i jego jakości ustalone są wymagania fizyko-mechaniczne.

Dla tarcicy sosnowej i jesionowej przedstawiają się one jak w tablicach 6-1 i 6-2.

Tablica 6-1

**Wymagania fizyko-mechaniczne dla tarcicy sosnowej według PKN/L-19000**

| Kategoria | Średni ciężar objętościowy drewna zupełnie suchego $\gamma_o$ | Wytrzymałość na ściskanie $R_{c15}$ | Udarność $U_{15}$ |
|---|---|---|---|
| | G/cm³ | kG/cm² | kGm/cm² |
| 1 | 0,46 | 400 | 0,40 |
| 2 | 0,42 | 350 | 0,30 |

Tablica 6-2

**Wymagania fizyko-mechaniczne dla tarcicy jesionowej według PKN/L-19002**

| Kategoria | Średni ciężar objętościowy drewna zupełnie suchego $\gamma_o$ | Wytrzymałość na ściskanie $R_{c15}$ | Udarność $U_{15}$ |
|---|---|---|---|
| | G/cm³ | kG/cm² | kGm/cm² |
| 1 | 0,60 | 450 | 0,50 |
| 2 | 0,55 | 400 | 0,40 |

Do badania własności fizyko-mechanicznych pobiera się próbki w ilości 2% liczby sztuk tarcicy, jednak nie mniejszej niż 24 próbki, z odczubowej części tarcicy w postaci wyrzynków o długości 32 cm. Miejsca wycięcia próbki z deski podano na rysunku 6-4.

Wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien oznacza się na próbce o wymiarach jak na rysunku 6-5. Wilgotność próbki w chwili oznaczenia powinna zawierać się w granicach 10÷20%. Próbkę umieszcza się w maszynie probierczej tak, aby kierunek działania siły obciążającej był równoległy do kierunku włókien i poddaje obciążeniu aż do chwili zniszczenia. Wytrzymałość próbki oblicza się według wzoru:

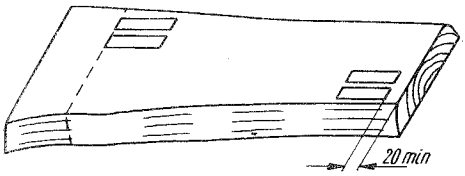
$$R_c = \frac{P_c}{A} \qquad [\mathrm{kG/cm^2}] \qquad (6\text{-}1)$$

gdzie:

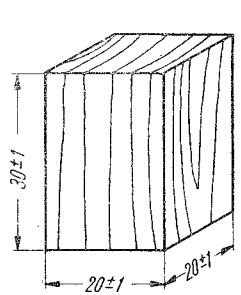
$P_c$ — siła niszcząca [kG],

$A$ — powierzchnia przekroju próbki [cm²].

Wytrzymałość próbki należy przeliczyć na wytrzymałość przy wilgotności standardowej 15% ($R_{c15}$). W tym celu należy oznaczyć wilgotność




*Rys. 6-4*
*Miejsca wycięcia próbek z deski*




*Rys. 6-5*
*Próbka drewna na ściskanie*

całej zniszczonej próbki bezpośrednio po wykonaniu oznaczenia wytrzymałości na ściskanie. Po oznaczeniu tej wilgotności przelicza się wytrzymałość według wzoru:

$$R_{c15} = R_{cw}[1 + a(w - 15)] \tag{6-2}$$

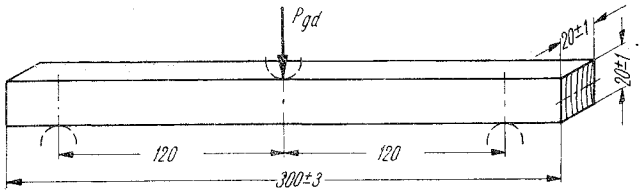
gdzie:

$R_{cw}$ — wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien, próbki o wilgotności w %, w kG/cm²,

$a$ — współczynnik zmiany wytrzymałości drewna przy zmianie jego wilgotności o 1%, dla sosny i jesionu równy 0,05,

$w$ — wilgotność próbki w %.

Udarność oznacza się na próbce o wymiarach, jak na rysunku 6-6.




*Rys. 6-6. Próbka drewna na udarność*

Wilgotność próbki w chwili oznaczania powinna zawierać się w granicach 12÷18%. Przed wykonaniem badania próbka powinna być przechowywana co najmniej 24 godziny w pomieszczeniu o temperaturze około 20°C i wilgotności względnej powietrza około 75%. Próbkę umieszcza się w maszynie probierczej tak, aby uderzenie ostrza młota udarowego było skierowane prostopadle do przekroju promieniowego drewna (rys. 6-6).

Udarność oblicza się według wzoru:

$$U_w = \frac{L}{b \cdot h} \qquad [\text{kGm/cm}^2] \tag{6-3}$$

gdzie:

$L$ — praca zużyta na zniszczenie próbki w kGm,

$b$ — wymiar przekroju próbki w kierunku promieniowym w cm,

$h$ — wymiar przekroju próbki w kierunku stycznym w cm.

Bezpośrednio po zniszczeniu określa się wilgotność zniszczonej próbki. Udarność próbki należy przeliczyć na udarność przy wilgotności standardowej 15% ($U_{15}$) podobnie jak wytrzymałość na ściskanie.

W obu opisanych próbach należy oznaczyć wilgotność próbki. Oznaczenie przeprowadza się metodą suszarkowo-wagową. Przez wilgotność rozumie się wilgotność bezwzględną drewna, tzn. stosunek masy wody zawartej w drewnie do masy tego drewna w stanie zupełnie suchym, wyrażony w procentach. (Istnieje również pojęcie wilgotności względnej drewna, tj. stosunku masy wody zawartej w drewnie do masy tego drewna wraz z zawartą w nim wodą, tj. do masy tego drewna w stanie wilgotnym wyrażonym w procentach).

Wilgotność bezwzględną oznacza się na próbkach o wymiarach jak na rysunku 6-5. Oznaczenie polega na ważeniu próbki wilgotnej i suszonej przez co najmniej 6 godzin w temperaturze 100÷105°C z dokładnością do 0,001 g.

Wilgotność bezwzględną próbki oblicza się według wzoru:

$$W = \frac{G_1 - G_2}{G_2 - G} \cdot 100\% \qquad (6\text{-}4)$$

gdzie:

$W$ — wilgotność bezwzględna próbki, w %,

$G$ — masa naczynka wagowego, w g,

$G_1$ — masa naczynka wagowego z próbką przed suszeniem, w g,

$G_2$ — masa naczynka wagowego z próbką zupełnie suchą, w g.

Orientacyjną metodę elektrometryczną (przy użyciu wilgotnościomierzy elektrycznych) stosuje się do badania wilgotności drewna zawartej w granicach 7÷25% — z dokładnością do 2%.

Oprócz wymienionych powyżej badań, oznacza się również ciężar właściwy drewna wilgotnego. Stosuje się tu metodę stereometryczną. Pomiaru dokonuje się na próbce o kształcie prostopadłościanu, którego podstawa ma wymiary 20×20 mm. Wysokość próbki wzdłuż włókien jest dowolna.

Ciężar właściwy oblicza się według wzoru:

$$\gamma = \frac{G_1 - G}{V} \qquad [\mathrm{G/cm^3}] \qquad (6\text{-}5)$$

gdzie:

$G$ — masa naczynka wagowego, w g,

$G_1$ — masa naczynka wagowego wraz z próbką wilgotną, w g,

$V$ — objętość próbki, w $\mathrm{cm^3}$.

Tarcicę lotniczą należy umiejętnie magazynować. Układa się ją w stosy bez przekładek, na legarach wspartych na słupkach. Słupki wykonuje się z betonu w kształcie ostrosłupa ściętego o podstawie kwadratowej 20 i 30 cm i wysokości 30 cm. Można zastąpić je również cegłami. Słupki rozstawia się wzdłuż długości stosu w odległości 1,5 m. Na słupki układa się krawędziaki drewniane o przekroju co najmniej 100×120 mm wzdłuż stosu, a na nie krawędziaki poprzeczne. Całość powinna być dokładnie spoziomowana. Legary konserwuje się kreozotem.

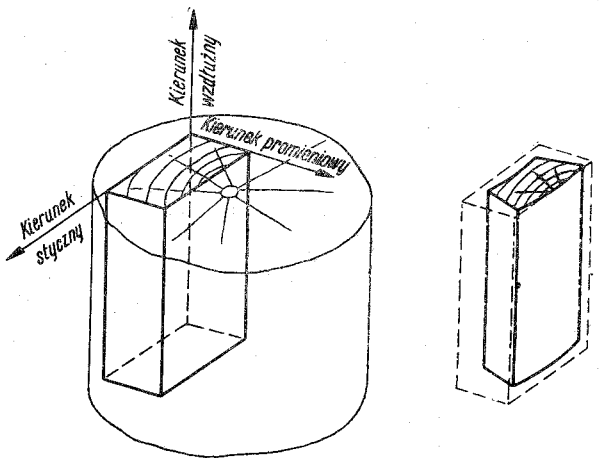
Tarcicę o większej wilgotności niż 15% należy składać osobno w celu podsuszenia. Tarcicę układa się wówczas w stosach z przekładkami. Przekładki powinny być grubości 20÷30 mm i szerokości 25÷40 mm. Skrajne przekładki powinny być szersze. Czoła stosów powinny być ustawione prostopadle do kierunku najczęściej wiejących wiatrów.

Magazynowaną tarcicę należy raz w roku przekładać, najlepiej w miesiącach letnich. Szkodnikami tarcicy są: grzyby (np. sinizna) oraz owady żerujące na drewnie.

W opisie badań własności fizyko-mechanicznych wspomniano o wpływie wilgotności na wyniki badań. Wilgotność ma również zasadniczy wpływ na dotrzymywanie wymiarów konstrukcyjnych i budowę części drewnianych szybowca. Drewno charakteryzuje się bowiem dużą pojemnością wodną. W stanie świeżym zawiera do 45% wody, następnie podlega suszeniu. Można stosować suszenie naturalne i suszenie sztuczne.

Suszenie sztuczne przeprowadza się w suszarniach komorowych. Zmienia się w nich temperaturę i wilgotność oraz zapewnia stałą cyrkulację powietrza. Czas suszenia dochodzi do 48 dób, zależnie od gatunku drewna. Okres suszenia naturalnego drewna z drzew iglastych wynosi co najmniej 1 rok a z drzew liściastych dochodzi do 3 lat. Podczas suszenia następuje kurczenie się drewna, natomiast gdy drewno znajdzie się w otoczeniu wilgotnym — pęcznienie.

Ze względu na niejednorodną budowę drewna zmiany wymiarów przy kurczeniu się i pęcznieniu są niejednakowe w różnych kierunkach. Przyjmując kierunki jak na rysunku 6-7, pęcznienie i kurczenie się wzdłuż




*Rys. 6-7. Kierunki zmian wymiarowych w drewnie*

włókien wynosi 0,1÷1%, w kierunku promieniowym 3÷5%, a w kierunku stycznym 6÷10%. Podane wartości odpowiadają różnym gatunkom drzew. Dla drewna sosnowego pęcznienie i kurczenie się wzdłuż włókien wynosi 0,1÷0,2%, w kierunku promieniowym 0,6÷4,2%, a w kierunku stycznym 2÷8%, dla drewna lipowego wzdłuż włókien 0,1÷0,2%, w kierunku promieniowym 0,4÷7%, a w kierunku stycznym 0,4÷11%.

W praktyce warsztatowej przyjmuje się jedną wielkość skurczu dla grubości i szerokości materiałów tartych. Nadmiary na zeschnięcie przy początkowej wilgotności bezwzględnej drewna 30% i wyżej oraz wymaganej końcowej wilgotności 15% podano w tablicy 6-3.

Tablica 6-3

Nadmiary na zeschnięcie według PN-57/D-03003

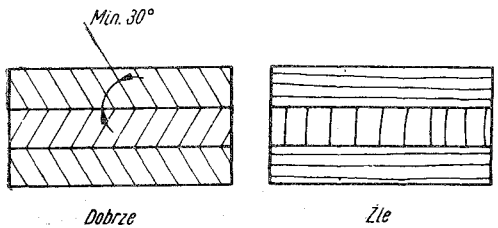
| Nominalny wymiar grubości lub szerokości | Sosna | Jesion | Lipa |
|---|---|---|---|
| 6÷8 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 14÷16 | 0,7 | 1,0 | 1,5 |
| 20÷22 | 0,9 | 1,5 | 1,5 |
| 35 | 1,5 | 2,0 | 2,5 |
| 45 | 1,9 | 2,5 | 3,0 |
| 63 | 2,5 | 3,0 | 4,0 |
| 100 | 3,5 | 5,0 | 6,5 |
| 150 | 4,8 | 7,5 | 10,0 |
| 200 | 6,2 | 10,0 | 13,5 |
| 300 | 9,0 | 15,0 | 20,0 |

Ze względu na niejednakową kurczliwość drewna w różnych kierunkach, następują odkształcenia przyciętych materiałów, pękania i paczenia się. Umiejętne dobieranie kierunków słoi oraz sklejanie drewna zapobiega tym zjawiskom w gotowej konstrukcji.

Bardzo ważne jest utrzymanie właściwej wilgotności drewna w czasie produkcji. Przyjmuje się ją równą 8÷12%, jest ona mniejsza od wilgotności podczas użytkowania szybowca, która wynosi 10÷20%. W ten sposób zabezpiecza się konstrukcję przed powstawaniem ewentualnych skurczów. Dopuszcza się raczej tendencję do pęcznienia, dzięki któremu następuje lepsze uszczelnienie połączeń.

Drewno magazynowane w postaci tarcicy ma przeważnie wyższą wilgotność od 12%. Przycięte więc listwy z desek tarcicy muszą być dodatkowo podsuszone. Pomieszczenia do suszenia powinny mieć wilgotność względną równą 55 do 65% i temperaturę 18÷25°C.

Ze względu na nierównomierną wytrzymałość drewna i jego skurcz, ważny jest właściwy dobór kierunków słoi w częściach drewnianych szybowca. Większe przekroje zespołów mocno obciążonych, jak pasy dźwigarów, tworzy się ze sklejonych kilku listew. Słoje w sklejonych listwach powinny tworzyć tzw. „jodełkę" (rys. 6-8).




*Rys. 6-8. Kierunki słoi w listwach klejonych*

Nachylenie rocznych słojów do powierzchni klejenia powinno być pod kątem nie mniejszym niż 30° do powierzchni klejenia. Podwyższa to wytrzymałość części sklejonej i chroni przed paczeniem.

Boczne powierzchnie listew sklejonych powinny również mieć układ słoi gwarantujący dobrą jakość sklejenia ze ścianką boczną. Nachylenie słojów rocznych do powierzchni sklejanej powinno tworzyć kąt nie mniejszy niż 30°.

Opisane w tym rozdziale własności drewna i związane z nimi wymagania konstrukcyjne potwierdzają stwierdzenie umieszczone na samym początku rozdziału, że drewno, które ma być zastosowane w produkcji szybowcowej należy dopiero uzyskać z otrzymanej tarcicy. Umiejętne przygotowanie drewna do dalszej obróbki i klejenia należy do specjalistów stolarzy maszynowych.

### 6.2. SKLEJKA

W budowie szybowców stosuje się sklejkę brzozową. Odznacza się ona dużą wytrzymałością, sprężystością i łatwością formowania na zadany kształt. Sklejka bukowa ma zbliżone własności wytrzymałościowe, ale jest krucha i mniej odporna na wilgoć.

Sklejka produkowana jest w specjalnych wytwórniach i dostarczana w postaci gotowych arkuszy. Otrzymuje się ją przez sklejanie kilku warstw drewnianych oklein. Warstwy układane są w ten sposób, aby kierunek włókien był wzajemnie prostopadły. Stosuje się nieparzystą liczbę warstw, przez co zmniejsza się wrażliwość sklejki na paczenie się. Sklejki do 2 mm grubości mają co najmniej trzy warstwy, zaś od 2 do 6 mm — co najmniej pięć warstw. Zasada budowy sklejki polega na symetrycznym układzie oklein w stosunku do pierwszej warstwy znajdującej się w środku. Obowiązuje ona tak pod względem liczby i grubości oklein, jak i kierunków włókien.

Sklejka lotnicza powinna być wodoodporna; klejona jest klejami:
— fenolowymi (PH),
— rezorcynowymi (R),
— melaminowymi (M).

Sklejkę produkuje się w dwóch kategoriach. Według przepisów instytucji Germanicher Lloyd z 1953 r. różnica w kategoriach nie polega na różnej wytrzymałości, lecz na przydatności arkuszy pod względem wad.

Do pierwszej kategorii zalicza się arkusze sklejki zdatne do użycia w całości.

Pod względem wad w materiale nie dopuszcza się:
— luźnych i martwych sęków w warstwach wewnętrznych,
— wrośniętych sęków ponad 6 mm średnicy,
— więcej niż 4 sęki w jednej warstwie na polu 100×100 cm odległych co najmniej o 200 mm przy sklejce 3-warstwowej i więcej niż 6 sęków w jednej warstwie odległych co najmniej o 150 mm przy sklejce 5-warstwowej,
— drewna z zawojami o przerywanych włóknach, różnobarwnym wyglądzie, zbutwiałego,
— blizn po sękach i rysy oraz zrosty.

Pod względem wad wykonawczych nie dopuszcza się:
— szczelin spoin nie przebiegających równolegle do kierunku włókien i nie przesuniętych względem siebie w poszczególnych warstwach,
— szczelin rozwartych i niesklejonych,
— wad łuszczenia, jak fałdów, marszczeń, rysów, nadłamań, wpływających na obniżenie wytrzymałości,

— arkuszy pofalowanych lub pokrzywionych,
— silnych przebić kleju więcej niż po jednej stronie płyty.

Arkusze sklejki drugiej kategorii powinny spełniać wymagania stawiane kategorii pierwszej na powierzchni wielkości co najmniej połowy arkusza i spełniać wymagania wytrzymałościowe pierwszej kategorii na powierzchni całego arkusza.

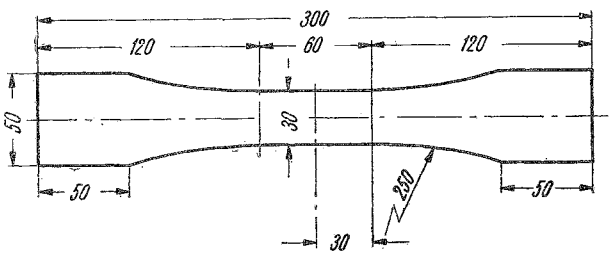
Na badania sklejki lotniczej składają się:
— oględziny zewnętrzne,
— prześwietlanie,
— pomiar odchyłek w grubości,
— badanie wilgotności,
— badanie wytrzymałości na rozciąganie,
— badanie wytrzymałości kleju,
— próba na gięcie,
— próba na skręcanie,
— próba odporności na moczenie.

Próbę prześwietlania przeprowadza się na sklejkach brzozowych do 3 mm grubości. Sklejkę kładzie się na skrzyni z otworami oraz umieszczonymi wewnątrz silnymi żarówkami elektrycznymi i przesuwa się ją obserwując obraz.

Tolerancja grubości sklejki do 2,5 mm wynosi ± 10%, a od 2,5 do 5 mm wynosi ± 0,25 mm.

Wilgotność bezwzględną oznacza się jak na próbkach tarcicy.

Do określenia wytrzymałości na rozciąganie należy przygotować 3 próbki (według rysunku 6-9), ze słojami w warstwie zewnętrznej wzdłuż próbki, oraz 3 próbki ze słojami w poprzek próbki. Minimalna wytrzymałość sklejki brzozowej ze słojami warstwy zewnętrznej wzdłuż próbki wynosi 700 kG/cm², ze słojami w poprzek próbki — 450 kG/cm².




*Rys. 6-9. Wymiary próbki sklejki na rozciąganie*

Próbę wytrzymałości klejenia warstw sklejki należy przeprowadzić na 5 próbkach na mokro przez ścięcie płaszczyzny klejenia. Próbki do 2 mm grubości sklejki należy moczyć przez 24 godziny. Moczenie w wodzie może być zastąpione 3-godzinnym gotowaniem. Minimalna wytrzymałość po moczeniu powinna w stanie wysuszonym wynosić 20 kG/cm².

Do próby wytrzymałości klejenia należy również 3-godzinne gotowanie dwóch próbek o wymiarach 10×10 cm, następnie wysuszenie i ponowne gotowanie przez 3 godziny. Po ostudzeniu w zimnej wodzie próbkę zgina się obustronnie aż do zerwania. Nie powinno być rozwarstwień, kruchości lub innych objawów wad sklejki.

Próbę na gięcie przeprowadza się na pasku sklejki odpowiednio długim i 25 mm szerokim. Pasek gnie się na cylindrycznym foremniku

o średnicy równej 100-krotnej grubości sklejki badanej, w dwie przeciwne strony, o 180°. Podczas próby nie powinno być żadnych oznak niszczenia sklejki.

Próbę na skręcanie przeprowadza się na podobnych próbkach jak na gięcie. Próbka skręcona wzdłuż osi podłużnej nie powinna wykazywać żadnych oznak zniszczeń i rozklejeń.

Próbę odporności na moczenie przeprowadza się na arkuszu wyjętym bezpośrednio z prasy. Próba polega na 2-godzinnym moczeniu w gorącej wodzie. Po wyjęciu sklejka nie powinna wykazywać żadnych wad.

Podczas magazynowania sklejka powinna być chroniona od wilgoci przez ułożenie arkuszy sklejki na półkach poziomych odległych od podłogi i ścian co najmniej o 30 cm. Pomieszczenie powinno być suche o temperaturze nie niższej niż 10°C.

### 6.3. OBRÓBKA DREWNA SKRAWANIEM

Na obróbkę skrawaniem składa się: cięcie, struganie, frezowanie, wiercenie i szlifowanie.

Podstawowym procesem związanym z przygotowaniem właściwego materiału jest cięcie. Do cięcia stosuje się przecinarki tarczowe i taśmowe oraz wyrzynarki z napędem elektrycznym. Szybkości skrawania wynoszą od 2000 do 5000 m/min. Szybkości posuwu ręcznego na przecinarkach tarczowych i taśmowych wynoszą 5÷8 m/min, przy posuwie mechanicznym mogą dochodzić do 60 m/min.

Narzędziem do cięcia są piły o odpowiednim uzębieniu. Do przecinania wzdłużnego drewna iglastego stosuje się zęby o prostym grzbiecie, do drewna twardego — zęby o podciętym grzbiecie, zaś do przecinania poprzecznego — piły o zębach trójkątnych. Zarysy zębów pił podano na rysunku 6-10. Kąt przyłożenia $\alpha$ dla pił z podciętym grzbietem wynosi 15÷20°, z prostym grzbietem 30÷35°. Kąt natarcia $\gamma$ wynosi około 20°, a dla pił o zębach trójkątnych jest ujemny.

*Rys. 6-10. Zarysy zębów pił*
*a* — do przecinania wzdłużnego, *b* — do przecinania poprzecznego, $\alpha$ — kąt przyłożenia, $\beta$ — kąt ostrza, $\gamma$ — kąt natarcia, $\delta$ — kąt skrawania

W celu zmniejszenia tarcia stosuje się rozwieranie zębów na przemian w lewą i prawą stronę. Wielkość rozwarcia w jedną stronę waha się od 0,2 do 0,8 mm w zależności od rodzaju ciętego drewna i od jego wilgotności.

Narzędziem do strugania są noże strugarskie osadzone w głowicy strugarskiej. Najczęściej spotyka się noże jednostronnie zaostrzone. Kąt ostrza $\beta$ noża wynosi 45°, a kąt skrawania $\delta$ — 55÷85°.

Narzędziem do frezowania są frezy. Osadza się je na wrzecionie frezarek. Zależnie od potrzeb stosuje się cały asortyment frezów o różnych kształtach. Typowym narzędziem do obróbki części szybowcowych jest frez palcowy stosowany we frezarko-kopiarce górnowrzecionowej (rys. 6-11).

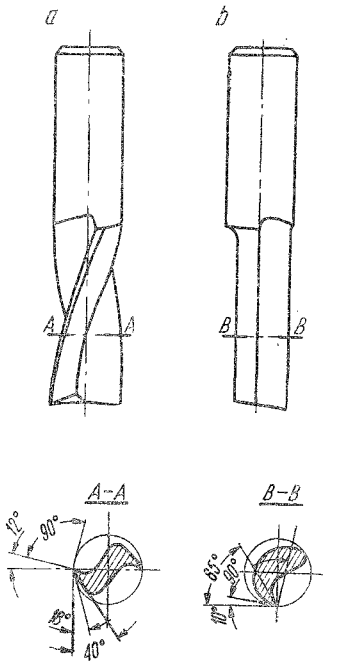
W strugarkach wyrówniarkach grubościowych liczba obrotów głowicy strugarskiej wynosi 3500 do 6000 obr/min, we frezarkach liczba obrotów wrzeciona wynosi 8000÷÷18 000 obr/min.

### 6.4. GIĘCIE DREWNA I SKLEJKI

Listwy drewniane i sklejkę można wyginać na zimno, lecz po odjęciu obciążenia powracają one do swych pierwotnych postaci. Aby nie wprowadzać wstępnych naprężeń do poszczególnych zespołów szybowca, stosuje się wstępne gięcie. W tym celu przycięte listwy i pokrycia sklejkowe poddaje się obróbce cieplnej przez parowanie. Części umieszcza się w specjalnych zbiornikach, w których parę przepuszcza się przez wodę znajdującą się na dnie. Temperatura parowania wynosi 105÷110°C, co odpowiada ciśnieniu pary 0,2÷0,5 atn.

Czas parowania zależy od rodzaju drewna i grubości giętej części (tabl. 6-4).

Drewno bardziej wilgotne wymaga krótszego czasu parowania, dlatego części giętych nie wysusza się przed parowaniem.




*Rys. 6-11. Frezy palcowe*
*a* — dwuostrzowy, *b* — jednoostrzowy

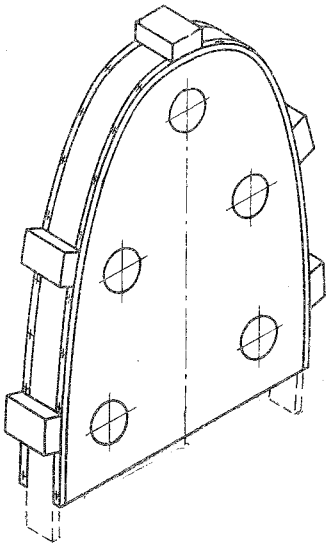
Wyparowane drewno o wilgotności do 25% gnie się na żądany promień na przygotowanych foremnikach (rys. 6-12 i 6-13). Zależnie od grubości materiału ustalone są doświadczalnie minimalne promienie gięcia,

Tablica 6-4

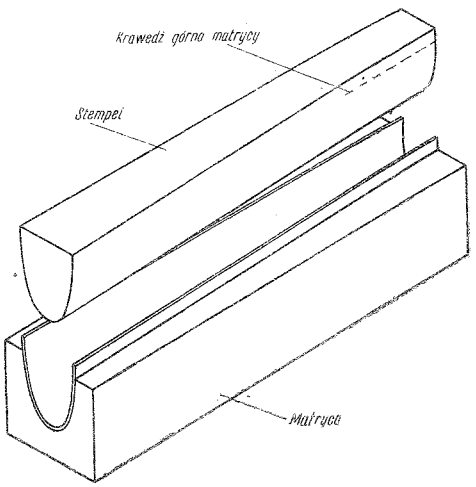
**Czasy parowania drewna**

| Drewno | Początkowa wilgotność drewna w % | Grubość listew w mm | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Miękkie | 7÷10 | 2 | 4 | 6 | 8 h |
| | 15÷20 | 15 | 20 | 30 | 45 min |
| Twarde | 7÷10 | 4 | 8 | 12 | 16 h |
| | 15÷20 | 30 | 45 | 60 | 80 min |

które podano w tablicy 6-5. Po ułożeniu części giętych w foremnikach należy je zaraz dosuszać, aby zachowały właściwy kształt i uzyskały normalną wilgotność.



*Rys. 6-12. Foremnik do gięcia pasów wręg*




*Rys. 6-13. Foremnik do gięcia pokrycia sklejkowego*

Tablica 6-5

**Najmniejsze promienie gięcia listew drewnianych**

| Grubość listwy w mm | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 20 | 25 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Najmniejszy promień w mm | 100 | 120 | 160 | 200 | 240 | 280 | 320 | 400 | 500 |

## 6.5. KLEJE DO DREWNA

W konstrukcjach drewnianych klejenie jest podstawowym środkiem łączenia. Kleje stosowane w budowie szybowców muszą spełniać specjalne wymagania. Wymagania te można podzielić na odnoszące się do skleiny oraz kleju.

Skleina musi mieć wymaganą wytrzymałość, elastyczność, odporność na działanie wody, temperatury, wilgoci i grzybów oraz drobnoustrojów. Wytrzymałość połączenia zależy od materiału klejonego, własności błony klejowej lub przyczepności kleju do łączonego materiału.

Jeżeli połączenie zniszczy się na sklejonym materiale, znaczy to, że najsłabszy był materiał. Jeżeli zniszczy się błona klejowa, znaczy to, że najniższa jest spójność (czyli kohezja) kleju. Jeżeli połączenie zniszczy się w płaszczyźnie kleju i materiału łączonego, znaczy to, że najsłabsza jest przyczepność (czyli adhezja) kleju.

Przyjmuje się, że połączenie klejowe jest wystarczające, jeżeli zniszczy się sklejony materiał.

Przyczepność zależy od rodzaju sklejanych materiałów, stanu powierzchni sklejanych (porowatość, zanieczyszczenia atmosferyczne i podczas

przygotowywania powierzchni), technologii klejenia oraz polarności kleju i materiałów sklejanych.

Polarność jest to intensywność wzajemnego oddziaływania na siebie cząstek kleju i łączonego materiału.

Rozróżnia się przyczepność mechaniczną i przyczepność właściwą (czyli polarną).

Przyczepność mechaniczna łączy się ze zdolnością przenikania kleju do klejonego materiału. Zachodzi to przy materiałach porowatych, jak drewno lub tkanina.

Przyczepność właściwa zależy od własności polarnych łączonych materiałów. Zachodzi to przy materiałach gładkich, takich jak metal, tworzywa sztuczne, szkło itd.

Przyczepność mechaniczna jest nieznaczną częścią całkowitej przyczepności. Główną rolę odgrywa przyczepność właściwa.

Klej powinien spełniać różne stawiane mu wymagania. Pod względem wytrzymałości musi mieć dostateczną spójność, odporność na płynięcie pod długotrwałym obciążeniem statycznym oraz odporność na starzenie. Pod względem technologii stosowania powinien być łatwo rozrabialny i utrzymywać się w stanie rozrobienia przez okres nanoszenia go, dobrze pokrywać powierzchnię, mieć właściwy okres wiązania, utwardzać się w temperaturze pokojowej i być niewrażliwym na grubość spoiny. Poza tym powinien spełniać warunki łatwego magazynowania.

Kleje mają oprócz substancji zasadniczych również substancje pomocnicze. Do nich należą: zmiękczacze (plastyfikatory), utwardzacze i przyspieszacze, wypełniacze i obciążalniki, rozpuszczalniki i rozcieńczalniki oraz dodatki specjalne.

Utwardzacze powodują przyspieszenie utwardzania kleju, przyspieszacze pozwalają regulować okres wiązania kleju w różnych temperaturach, wypełniacze polepszają własności klejów pod względem zdolności wypełniania szczelin, nadania elastyczności itp., obciążalniki zmieniają niektóre cechy klejów, np. twardość, rozpuszczalniki rozpuszczają podstawowe składniki kleju i nadają mu większą płynność, wreszcie rozcieńczalniki zmieniają lepkość nie rozpuszczając składników kleju.

Dodatkami specjalnymi mogą być substancje polepszające zwilżalność powierzchni łączonych, pigmenty oraz antyseptyki zabezpieczające przed psuciem się kleju i skleiny.

Uzyskanie dobrego połączenia klejowego wiąże się ze spełnieniem odpowiednich warunków. Najważniejsze jest dobranie właściwego docisku do lepkości kleju. Przy klejeniu drewna klej zwilża powierzchnie i przenika w pory, powiększając przez to powierzchnię sklejenia. Stosowany docisk zapewnia właściwe przenikanie kleju, musi być jednak dobrany do lepkości kleju, bowiem przy małej lepkości i za dużym docisku klej może wyciec na boki, a nałożony film klejowy może poprzerywać się i przez to dać słabsze połączenie. Może również zaistnieć przypadek odwrotny, a mianowicie może powstać spoina grubsza od wymaganej. Nie każdy klej odporny jest na pogrubioną spoinę. Powstają wówczas naprężenia wewnętrzne w spoinie pod wpływem utwardzania się kleju.

Oprócz docisku ważnym parametrem klejenia jest temperatura. W niższej temperaturze proces wiązania przebiega powoli, a w niektórych typach klejów obniża się własność spoiny.

Przy klejeniu drewna ważna jest odpowiednia wilgotność powierzchni. Duża wilgotność powoduje rozcieńczenie kleju. W tych przypadkach na-

leży stosować klej o większej lepkości lub wysuszyć łączone powierzchnie. Za mała wilgotność wpływa również na obniżenie własności wytrzymałościowych połączenia. Klejenie drewna o różnej wilgotności powoduje powstawanie dużych naprężeń wewnętrznych.

Z technologią klejenia związanych jest kilka zasadniczych pojęć. Do nich należą: trwałość kleju, okres użytkowania, okres odstania się kleju, przetrzymanie otwarte i przetrzymanie zamknięte.

Trwałość kleju określa bezpieczny okres przechowywania kleju przed rozrobieniem, okres użytkowania zaś — czas, w jakim klej po rozrobieniu może być używany.

Okres odstania się kleju to czas, w jakim należy klej pozostawić po rozrobieniu bez mieszania w celu doprowadzenia do potrzebnej reakcji chemicznej lub wydzielenia się gazów.

Przetrzymanie otwarte części posmarowanych klejem służy do nabrania odpowiedniej lepkości przez klej.

Przetrzymanie zamknięte obejmuje okres od złożenia części sklejanych do momentu wywarcia docisku. Okres ten jest potrzebny do nabrania odpowiedniej lepkości przez klej.

Podczas rozciągania sklejonego fragmentu powstaje w skleinie spiętrzenie naprężeń, które wpływa na obniżenie własności połączenia. Spiętrzenie naprężeń występuje na obu końcach połączenia i powstaje wskutek elastycznego odkształcania się wzdłużnego końców drewna. Niektóre kleje mają właściwości wyrównywania spiętrzeń naprężeń dzięki pełzaniu, ale może to mieć miejsce jedynie w granicach dopuszczalnych odkształceń skleiny w konstrukcji.

W połączeniach jednostronnych dochodzą jeszcze dodatkowe naprężenia od momentu zginającego. Najlepszym połączeniem jednostronnym jest połączenie na zakładkę ukośną. Jest ono stosowane w konstrukcjach szybowcowych przy łączeniu odpowiedzialnych elementów.

Wytrzymałość połączenia zależy od kąta skosu. Im bardziej pochyły skos, tym wytrzymałość większa, ale też większy odpad drewna. Praktycznie przyjmuje się ukosowanie w stosunku 1:15, a dla części odpowiedzialnych — 1:25. Uzyskuje się wtedy 90% wytrzymałości elementu łączonego. Przy mniejszych ukosowaniach wytrzymałość ta spada i dla nachylenia 1:10 wynosi 85%, a dla 1:5 — tylko 65%.

W konstrukcjach szybowcowych znalazły dotychczas zastosowanie następujące kleje do łączenia drewna:

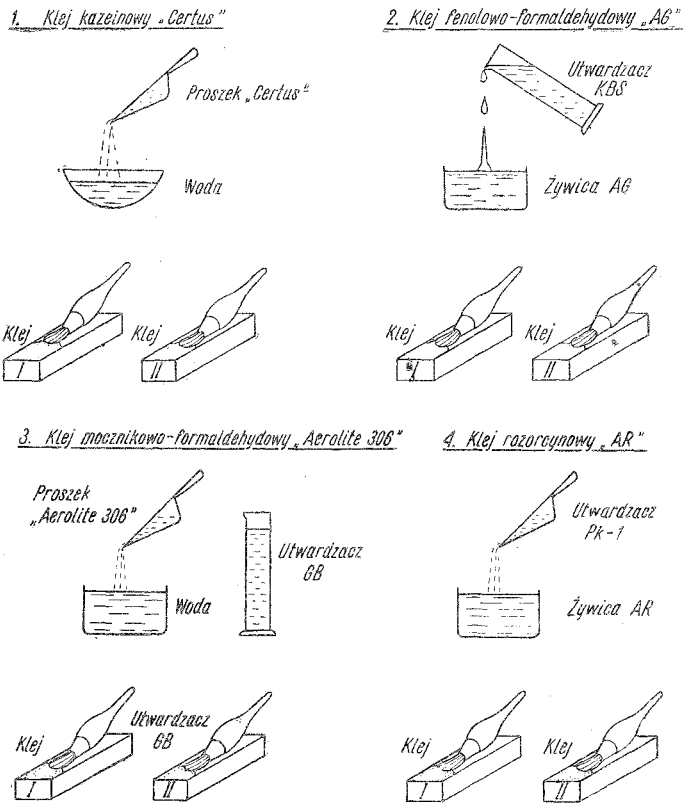
— klej kazeinowy „Certus",
— klej fenolowo-formaldehydowy „AG",
— klej mocznikowo-formaldehydowy „Aerolite 306",
— klej rezorcynowy „AR".

Trzy ostatnie kleje są wodoodporne i dla nich przyjmuje się odmienne kryterium wytrzymałości niż dla kleju kazeinowego, dla którego przyjmuje się w obliczeniach konstrukcji wytrzymałość na ścinanie równą co najmniej 30 kG/cm$^2$. Kleje wodoodporne mają wytrzymałość na ścinanie na drewnie wilgotnym wyższą od wytrzymałości drewna. Dlatego też dla konstrukcji drewnianych przyjmuje się w tym przypadku najmniejszą wytrzymałość drewna, a nie klejów.

Zawilgocenie konstrukcji drewnianej może dojść w eksploatacji do wilgotności 16%. Wytrzymałość na ścinanie należy ograniczyć wytrzymałością drewna przy tej wilgotności; bez uwzględnienia współczynnika bezpieczeństwa należy przyjąć następujące wartości wytrzymałości:

— dla połączeń jesionu — co najmniej 70 kG/cm²,
— dla połączeń sosny — co najmniej 50 kG/cm²,
— dla połączeń świerku i lipy — co najmniej 45 kG/cm²,
— dla połączeń sklejki brzozowej — co najmniej 40 kG/cm².

Schemat przygotowywania poszczególnych klejów podano na rysunku 6-14.




*Rys. 6-14. Schemat przygotowywania poszczególnych klejów*

### 6.5.1. Klej kazeinowy

Najstarszym klejem lotniczym jest klej białkowy, kazeinowy. Jak sama nazwa wskazuje, klej jest oparty na kazeinie. Otrzymuje się ją z mleka odciąganego w postaci żółtawo-kremowego proszku. Oprócz kazeiny klej składa się z wapna gaszonego, soli mineralnych oraz nafty. Wapno gaszone podwyższa twardość i odporność kleju na działanie wilgoci. Sole mineralne podwyższają wodoodporność skleiny, nafta zaś chroni klej nierozrobiony w postaci proszku przed wilgocią.

Klej powinien być przechowywany w opakowaniach w suchych pomieszczeniach o temperaturze 15÷25°C. Trwałość kleju jest bardzo nieduża, jednak okres gwarancyjny powinien wynosić nie mniej niż 5 miesięcy od daty wyprodukowania. Po tym okresie klej należy poddać badaniom kontrolnym. Klej jest mało odporny na działanie mikroorganizmów i nie jest wodoodporny. W klimacie tropikalnym nie ma zastosowania.

Czysta kazeina nie rozpuszcza się w wodzie, lecz silnie pęcznieje. Rozpuszcza się natomiast łatwo w wodnych roztworach wodorotlenków metali alkalicznych. Mieszanina taka jest prawie obojętna i ma wysokie własności adhezyjne.

Klej przygotowuje się przez wsypanie przyrządzonego fabrycznie proszku z kazeiny, zawierającego już substancje pomocnicze, do wody w stosunku 1:2 (dwie części wody) i mieszanie przez 0,5 do 1 godziny. Wymieszaną masę klejową należy odstawić na okres kilku minut, po czym klej nadaje się do użytku.

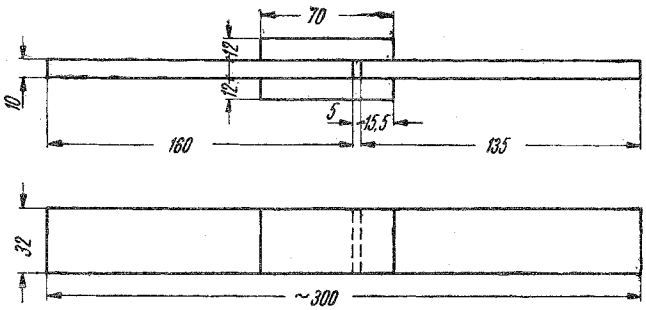
Okres użytkowania wynosi do 4 godzin.

Klej należy rozrabiać w naczyniach niemetalowych, jednorazowo, według ustalonej proporcji z wodą. Nie wolno dolewać wody do rozrobionego kleju, który już zgęstniał, gdyż nie łączy się ona z klejem, nie wolno też dodawać proszku, ani resztek niezużytego poprzednio kleju. Temperatura otoczenia przy klejeniu nie powinna być niższa niż 16°C, a wilgotność drewna powinna wynosić 8÷12%. W celu przyspieszenia procesu wiązania można stosować podgrzewanie do temperatury 75°C. W zależności od typu połączenia powinno się stosować docisk od 4 do 6 kG/cm². Potrzebny on jest ze względu na znaczny skurcz objętościowy kleju występujący w czasie jego twardnienia. Najlepszą wytrzymałość osiąga się przy grubości skleiny około 0,1 mm.

Przetrzymanie otwarte powinno wynosić kilka minut. Części sklejane powinny podlegać dociskowi przez okres 35÷50 godzin w temperaturze pokojowej. Po tym okresie części można obrabiać. Całkowita wytrzymałość skleiny następuje po 14 dobach.

W stanie suchym wytrzymałość skleiny jest nawet większa od wytrzymałości drewna.

Warunki techniczne i odbiorcze na klej kazeinowy lotniczy zawarte są w opracowaniu Instytutu Lotnictwa K-1-55. Według tych warunków odporność na działanie wody bada się próbką w formie błonki wykonaną z przyrządzonego kleju. Próbka po 24 godzinach moczenia w wodzie nie powinna rozpuścić się i nie powinna dawać zmętnienia wody.




*Rys. 6-15. Próbka do badania kleju*

Najmniejsza wytrzymałość kleju na ścinanie na sucho powinna wynosić 90 kG/cm², a na mokro — 30 kG/cm².

Do określenia wytrzymałości należy przygotować 8 próbek według rysunku 6-15. Cztery próbki przeznacza się do badania na sucho, cztery zaś na mokro. Próbki wykonuje się z drewna jesionowego lub dębowego o wilgotności 8÷12%. Powierzchnie klejenia należy pozębakować narzę-

dziem o 12÷15 zębów na 1 cm i oczyścić z pyłu. Podczas klejenia należy zachować właściwe parametry, jak przetrzymanie otwarte w czasie około 5 min, docisk 3÷5 kG/cm², w ciągu 24 godzin. Po 48 godzinach przetrzymania próbek w temperaturze pokojowej cztery próbki zrywa się na maszynie wytrzymałościowej o zakresie obciążeń 2000 kG. Cztery dalsze próbki zanurza się w zimnej wodzie na okres 24 godzin. Po wyjęciu z wody próbki się osusza i poddaje również próbie na ścinanie.

Przy próbie na sucho co najmniej trzy próbki powinny mieć wytrzymałość min. 90 kG/cm², a jedna min. 80 kG/cm².

Przy próbie na mokro co najmniej trzy próbki powinny mieć wytrzymałość min. 30 kG/cm², a jedna min. 25 kG/cm².

### 6.5.2. Klej fenolowo-formaldehydowy AG

Klej tego typu należy do grupy klejów nieodwracalnych, służy do klejenia drewna na zimno. Przedstawicielem kleju produkcji krajowej jest klej AG. Jest to klej dwuskładnikowy składający się z ciekłej żywicy klejowej AG utwardzonej ciekłym utwardzaczem KBS.

Żywica AG jest to żywica fenolowa typu rezolowego, otrzymana w wyniku kondensacji fenolu z formaldehydu w obecności wodorotlenku sodowego jako katalizatora, a następnie zobojętniona kwasem mlekowym. Jest to ciecz lepka o barwie od bursztynowej do brunatnej. Barwa nie stanowi o jakości kleju.

Żywicę należy przechowywać w pomieszczeniach nienasłonecznionych w temperaturze max 15°C i wilgotności względnej 60÷70% przez okres max 45 dni od daty wyprodukowania. Po okresie gwarancyjnym żywica może być dopuszczana do produkcji na okres co 2 tygodnie, jeżeli spełnia wymagania.

Utwardzaczem jest kwas benzenowo-sulfonowy (oznaczony w skrócie symbolem KBS). Jest to ciecz koloru ciemnoszarego. Część kwasu znajduje się w postaci zawiesiny. Z tego powodu klej należy nadzwyczaj starannie wymieszać przed użyciem, gdyż może nastąpić nieutwardzenie się kleju. Utwardzacz KBS należy przechowywać w temperaturze 0÷18°C przy wilgotności względnej 60÷70%, sprawdzając co 6 miesięcy liczbę kwasową i gęstość. Liczba kwasowa powinna wynosić 180 — 200.

Stosowanie sulfokwasu może wpływać niszcząco na drewno, dlatego w niektórych krajach nie wolno używać tego typu klejów do konstrukcji lotniczych, a w innych stosuje się ograniczenia eksploatacyjne.

Klej należy przygotowywać w czystych naczyniach, nie wolno używać naczyń z resztkami kleju poprzednio rozrobionego. Do naczynia emaliowanego lub szklanego wlewa się żywicę i miesza przed rozrobieniem. Powinna ona mieć temperaturę max 15°C (temperatura magazynowania). Do wymieszanej żywicy wlewa się powoli utwardzacz o temperaturze max 18°C (temperatura magazynowania), kilkoma porcjami, dokładnie mieszając przez kilka minut. Utwardzacz powinien być również dobrze wymieszany. W czasie mieszania powstaje reakcja egzotermiczna. Temperatura pomieszczenia do rozrabiania kleju powinna wynosić 12÷÷25°C. Dobrze wymieszany klej powinien mieć jednolitą barwę.

Po wymieszaniu żywicy z utwardzaczem należy pozostawić klej w naczyniu na okres odstania się, w celu usunięcia pęcherzyków gazu. Wynosi on 10÷15 min.

Okres użytkowania kleju jest różny i waha się od 0,5 do 4 godzin. Jest on charakterystyczny dla danej partii wyprodukowanej żywicy.

Ilość dodawanego utwardzacza KBS do żywicy klejowej AG przyjmuje się orientacyjnie w wielkości 18 części ciężarowych na 100 części żywicy, z tym że ulega ona korekcie, zależnie od liczby kwasowej utwardzacza. Szczegółowe wartości podano w tablicy 6-6.

Tablica 6-6

**Ilość utwardzacza KBS dodawanego do żywicy klejowej AG**

| Ilość żywicy klejowej AG [kG] | Liczba kwasowa [mg KOH/1 g] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 190—200 | 180—189 | 170—179 | 160—169 | 150—159 |
| | Ilość utwardzacza KBS w zależności od liczby kwasowej [dkg] | | | | |
| 1,0 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |

Przy mieszaniu kleju należy stosować odzież ochronną i okulary chroniące od rozprysku. Powierzchnia drewna powinna być lekko przetarta papierem ściernym i odpylona. Drewno powinno mieć wilgotność 8÷12%. Nie wolno kleić powierzchni brudnych, zatłuszczonych i pomalowanych.

Klej należy nanosić obustronnie pędzlem lub łopatką drewnianą, nie dopuszczając do pienienia się kleju. Klejenie powinno odbywać się w pomieszczeniach o temperaturze 18÷25°C i wilgotności względnej 55÷70%. Zużycie kleju wynosi 200÷300 g/m² na jedną powierzchnię klejoną.

Po naniesieniu kleju należy powierzchnie złożyć ze sobą i wywrzeć odpowiedni docisk (tabl. 6-7). Powierzchni raz złożonych nie należy z powrotem rozrywać. Wszystkie operacje związane z naniesieniem kleju aż do wywarcia docisku muszą się odbywać w okresie użytkowania kleju.

Tablica 6-7

**Wielkości docisków przy klejeniu**

| Rodzaj części klejonych | Docisk kG/cm² |
|---|---|
| Pokrycia sklejkowe | 0,5÷1,5 |
| Pasy żeber i wręg | 1,0÷2,5 |
| Pasy dźwigarów i podłużnice | 3,0÷4,0 |

Docisk zależy od sztywności części klejonych i wynosi 0,5÷4 kG/cm². W temperaturze otoczenia 18÷25° C i wilgotności względnej 55÷70% okres wiązania kleju AG wynosi minimum 6 godzin. Przez cały czas wiązania kleju należy wywierać jednakowy docisk. Odpowiedzialne części o dużych przekrojach powinny pozostawać pod dociskiem nawet do 24 godzin. Szczegółowe czasy przetrzymywania pod dociskiem podano w tablicy 6-8. Czas utwardzania się kleju można znacznie skrócić przez stosowanie podgrzewania do temperatury około 80° C. Najwyższą wytrzymałość otrzymuje się w temperaturze 30°C.

Tablica 6-8

Czasy stosowane przy normalnym klejeniu klejem AG

| Rodzaj części klejonych | Okres czasu do zdjęcia zacisku | Okres czasu sezonowania | Całkowity czas klejenia |
|---|---|---|---|
| | godziny | | |
| Żebra, noski, spływy, drobne części | 6÷8 | 6÷8 | 12÷16 |
| Ścianki dźwigarów, wręgi, pokrycia sklejkowe | 12 | 12 | 24 |
| Pasy dźwigarów, wręgi nośne | 24 | 24 | 48 |

Po zwolnieniu sklein z docisków następuje jeszcze okres sezonowania kleju w temperaturze około 20°C. Okres ten jest równy okresowi pozostawania części pod dociskiem.

Okresu sezonowania nie przyspiesza się przez stosowanie podgrzewania. Całkowite czasy klejenia przy zastosowaniu podgrzewania po wywarciu docisku podano w tablicy 6-9.

Tablica 6-9

Czasy stosowane przy przyspieszonym klejeniu klejem AG

| Rodzaj części klejonych | Okres czasu do zdjęcia docisku | Okres czasu sezonowania | Całkowity czas klejenia |
|---|---|---|---|
| | godziny | | |
| Żebra, noski, spływy, drobne części | 2 | 6÷8 | 8÷10 |
| Ścianki dźwigarów, wręgi, pokrycia sklejkowe | 3 | 12 | 15 |
| Pasy dźwigarów, wręgi nośne | 5 | 24 | 29 |

Po skończonym sezonowaniu, części można poddać dalszej obróbce mechanicznej. Całkowitą wytrzymałość skleina osiąga po 14 dobach od utwardzenia kleju.

Klej AG jest trudno palny, odznacza się wysoką wytrzymałością i największą odpornością na działanie temperatury, wody i mikroorganizmów. Wytrzymałość skleiny jest większa od wytrzymałości drewna.

Nie zaleca się stosowania pogrubionych spoin. Klej AG ma zasadniczą wadę, a mianowicie jest toksyczny ze względu na wydzielanie się fenolu. Warunki techniczne przewidują badanie składników kleju oraz badanie samego kleju.

Wymagania techniczne żywicy klejowej AG ustala norma BN-67/6317-02, a utwardzacza KBS norma ZN-57/MPCh-09-219.

Żywica klejowa AG podlega określeniu wyglądu zewnętrznego, lepkości i zawartości suchej substancji.

Utwardzacz KBS podlega określeniu ciężaru właściwego i liczby kwasowej.

Klej AG (żywica AG + utwardzacz KBS) podlega badaniom na wygląd zewnętrzny, lepkość, stopień utwardzenia i wytrzymałości na ścina-

nie. Przez dodanie utwardzacza żywica zmienia barwę z brunatnej na niebieskawą.

Badanie lepkości związane jest ściśle z określeniem czasu użytkowania kleju. Badanie to przeprowadza się lepkościomierzem Ford-Englera o średnicy otworu wypływowego 6 mm w temperaturze 25°C, tzn. najwyższej dopuszczalnej do klejenia. Po zmieszaniu utwardzacza KBS z żywicą następuje stopniowe wzrastanie lepkości w czasie. Najlepsze klejenie uzyskuje się przy lepkości 200÷250 sek według Ford-Englera 6, dlatego też przy badaniu partii kleju wyznacza się czas, przy jakim klej uzyskał tę lepkość. Ze względów praktycznych czas ten nie może być krótszy niż 30 minut. Czas, przy którym klej uzyskał lepkość 200—250 sek jest maksymalnym czasem użytkowania kleju w najwyższej temperaturze. Przy niższych temperaturach czas ten wydłuża się.

Stopień utwardzenia kleju bada się na próbce w formie błonki. Błonka wykonana z przygotowanego kleju po 24 godz. przebywania w temperaturze 18÷20°C powinna być twarda i pod naciskiem palca nie wykazywać żadnych odkształceń.

Najmniejsza wytrzymałość kleju na ścinanie na sucho powinna wynosić 80 kG/cm², a po 6 godz. przebywania we wrzącej wodzie nie mniej niż 50 kG/cm².

Do określania wytrzymałości należy przygotować po cztery próbki według rysunku 6-15 dla każdego przypadku badań. Próbki wykonuje się z drewna jesionowego lub dębowego o wilgotności 8÷12%. Powierzchnie klejenia powinny być gładkie, odpylone. Obie powierzchnie powleka się klejem przy zachowaniu parametrów opisanych poprzednio. Po 24 godzinach wywierania docisku próbki oczyszcza się, wyrównuje powierzchnie boczne i zrywa na maszynie wytrzymałościowej o zakresie obciążeń 2000 kG.

Przy każdym rodzaju próby co najmniej trzy próbki z czterech muszą spełniać minimalne wymagania wytrzymałościowe, a jedna na cztery może wykazywać ścinanie skleiny. Jeżeli próbki zetną się na samym drewnie i nie wykazują wymaganej wytrzymałości, próby należy uznać za nieważne, gdyż zostało użyte złe drewno.

Klej AG działa korodująco na metale i nie nadaje się do klejenia części drewnianych klejonych uprzednio klejem kazeinowym. Aby stosować klej AG, drewno nie może dawać odczynu zasadowego swych sklein (kolor niebieski papierka lakmusowego). Można nim natomiast kleić części klejone uprzednio klejem mocznikowym po oczyszczeniu powierzchni klejowej. Klej AG nie nadaje się również do łączenia sklejki z wypełniaczem komórkowym papierowym, gdyż niszczy on papier.

Odpowiednikiem kleju AG jest radziecki klej WIAM-B3.

### 6.5.3. Klej mocznikowo-formaldehydowy Aerolite 306

Klej Aerolite 306 jest powszechnie stosowany w Anglii do klejenia drewna na zimno. Jest to klej dwuskładnikowy, składający się z masy klejowej utwardzonej utwardzaczem.

Masę klejową sporządza się przez wymieszanie proszku Aerolite 306 z wodą. Stosunek ciężarowy jest następujący:

— proszek Aerolite 306 — 100 części,
— woda — 45 części,

lub 4 części objętościowe proszku na 1 część objętościową wody.

Masę należy przygotowywać w czystych naczyniach porcelanowych lub szklanych. Masę miesza się łopatką drewnianą aż do rozpuszczenia się proszku. Po wymieszaniu masę należy pozostawić w naczyniu na okres 1÷1,5 godziny w celu usunięcia pęcherzyków powietrza. Dawniej dodawano alkohol metylowy, aby przyspieszyć usuwanie baniek powietrza. Ostatnio odpowiednie składniki dodaje wytwórnia do proszku. Tak wymieszaną masę klejową można przechowywać do 3 miesięcy, ale zaleca się użycie jej w ciągu 14 dni.

Gęstej, trudno rozprowadzającej się masy klejowej nie należy rozcieńczać żadnymi rozpuszczalnikami, gdyż nie nadaje się ona wówczas do użytku.

Pojemniki z proszkiem Aerolite 306 lub rozrobioną masą klejową należy przechowywać w chłodnym pomieszczeniu, w max. temperaturze 20÷25°C i szczelnie zamykać. Sam proszek Aerolite 306 można przechowywać przez okres 24 miesięcy od daty produkcji. Pojemniki mogą być wykonane z blachy stalowej cynkowanej, z drewna, kamionki, porcelany lub szkła.

Wytwórnia produkuje trzy rodzaje utwardzaczy na bazie kwasu mrówkowego: utwardzacz mający zdolność szybkiego utwardzania kleju GBQ (bursztynowy), średnio szybkiego utwardzania kleju GBP (zielony) oraz powolnego utwardzania kleju GBM (niebieski). Utwardzaczy nie wolno mieszać ze sobą. Powinno się je przechowywać w naczyniach szklanych, porcelanowych lub kamionkowych (nie z metalu). Przy szczelnym zamknięciu żywotność ich jest nieograniczona.

Przy klejeniu stosuje się odmienną niż zwykle technikę, a mianowicie oddzielnie nanosi się na jedną powierzchnię sklejaną masę klejową, a na drugą sam utwardzacz. Utwardzanie następuje po złożeniu obu powierzchni. W temperaturach otoczenia niższych od 16°C należy stosować utwardzacz szybko wiążący (GBQ), zaś poniżej temperatury 21°C zaleca się utwardzacz szybko wiążący (GBQ) lub średnio szybko wiążący (GBP).

W czasie przyrządzania kleju oraz klejenia należy używać rękawice gumowe oraz odzież ochronną i okulary.

Powierzchnia drewna powinna być przetarta drobnym papierem ściernym i odchylona. Drewno powinno mieć wilgotność 8÷12%. Nie wolno kleić powierzchni brudnych, zatłuszczonych, pomalowanych itp.

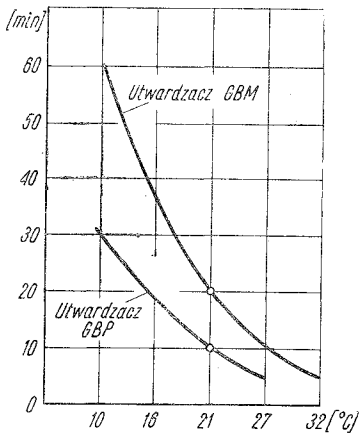
Klej przygotowany w postaci masy nanosi się za pomocą pędzla lub łopatki drewnianej na jedną z powierzchni klejonych. Przy klejeniu drewna ze sklejką masę klejową nanosi się na sklejkę tak, aby utwardzacz nanosić na drewno. Cienka sklejka może się wypaczyć pod wpływem utwardzacza. Zużycie kleju wynosi 125—150 g na 1 m² powierzchni.

Czas trzymania otwartego masy klejowej nie jest ograniczony. Obie powierzchnie sklejane należy złożyć ze sobą przed wyschnięciem utwardzacza (około 15 min od czasu naniesienia). Powierzchnie wyschnięte należy powtórnie nasycić utwardzaczem. Nadmiar utwardzacza jest wchłaniany częściowo przez drewno, a częściowo uchodzi w powietrze.

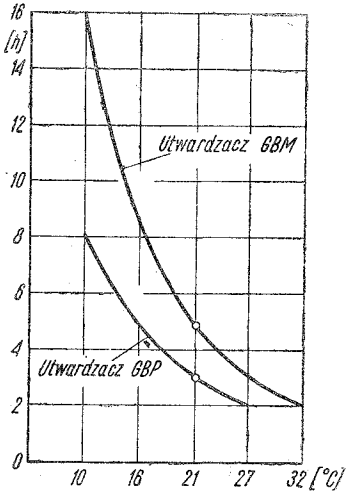
Po zetknięciu się masy klejowej z utwardzaczem następuje twardnienie kleju. Czas początku twardnienia zależy od rodzaju utwardzacza i temperatury otoczenia. Dla temperatury 21°C wynosi on 10 minut przy utwardzaczu średnio szybko wiążącym (GBP) i 20 minut przy utwardzaczu wolno wiążącym (GBM). Czasy początku twardnienia przy różnych temperaturach podano na rysunku 6-16.

Po złożeniu części należy wywrzeć docisk. Okres docisku zależy od temperatury otoczenia. Dla temperatury 21°C wynosi on 3 godziny dla

utwardzacza średnio szybko utwardzającego klej (GBP) i 5 godzin dla utwardzacza wolno utwardzającego klej (GBM). Czasy docisku w różnych temperaturach otoczenia podano na rysunku 6-17.




*Rys. 6-16. Zależność czasu początku twardnienia kleju od temperatury otoczenia*




*Rys. 6-17. Zależność czasu docisku kleju od temperatury otoczenia*

Wielkość docisku zależy od sztywności części klejonych i wynosi od 0,5 do 4 kG/cm². Po usunięciu docisku części klejone należy sezonować w okresie dwukrotnie dłuższym niż czas wywierania docisku.

Klej Aerolite 306 ma wysoką wytrzymałość. Pogrubiona skleina ma niższą wytrzymałość i wykazuje tendencję do pękania. Pod względem wodoodporności przewyższa znacznie klej kazeinowy i jest jedynie nieodporny na działanie wrzącej wody. Wytrzymałość spoiny klejowej mieści się w zakresie 80 — 130 kG/cm². Skleiny stają się wodoodporne dopiero po 14 dniach sezonowania w temperaturze pokojowej.

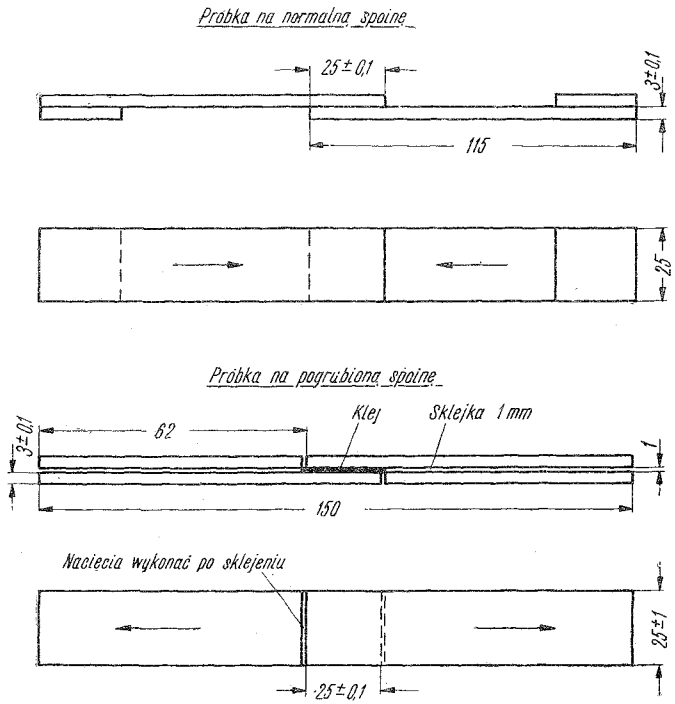
Klej podlega badaniom wytrzymałościowym na ścinanie skleiny normalnej i pogrubionej. Siła niszcząca próbkę skleiny normalnej na sucho według normy brytyjskiej BS 1204:1964 powinna wynosić minimum 275 kG, a pogrubionej minimum 205 kG.

Siła niszcząca próbkę skleiny normalnej ścinanej po moczeniu przez 3 godziny w wodzie o temperaturze 67°C powinna wynosić minimum 150 kG, a pogrubionej minimum 105 kG.

Do określenia wytrzymałości należy przygotować po sześć próbek według rysunku 6-18 dla każdego przypadku badań. Próbki wykonuje się z drewna bukowego o równoległym układzie włókien i zostawia się je w zaciskach przez 24 godziny w temperaturze pokojowej oraz sezonuje przez 14 dni. Do prób ścinania na mokro próbki po sezonowaniu przez 14 dni należy moczyć przez 3 godziny w wodzie o temperaturze 67°C, a po moczeniu próbki ochłodzić w zimnej wodzie i zrywać bezpośrednio po moczeniu.

Klej Aerolite 306 działa korodująco na metale w okresie wiązania się masy klejowej z utwardzaczem, dlatego powinny one być zabezpieczone antykorozyjnie, jeżeli mają znajdować się w bezpośrednim sąsiedztwie kleju. Gdy klej jest już związany, nie działa na metal.

Klej Aerolite 306 nie nadaje się do klejenia części drewnianych klejonych uprzednio klejem kazeinowym. Można nim za to kleić części klejone klejem mocznikowym lub fenolo-formaldehydowym po oczyszczeniu powierzchni klejowej.




*Rys. 6-18. Próbki do badania kleju*
*a* — próbka na normalną spoinę, *b* — próbka na pogrubioną spoinę

Przedstawicielem kleju należącego do tej samej grupy jest klej Kauryt WHK w NRF oraz Melocol produkowany przez firmę szwajcarską CIBA.

#### 6.5.4. Klej rezorcynowy AR

Klej tego typu (produkcji fińskiej) służy do klejenia drewna na zimno. Jest to klej dwuskładnikowy, składający się z ciekłej żywicy klejowej Resinoliima AR utwardzanej sproszkowanym utwardzaczem Resinokovett PK-1.

Rezorcyna jest dwufenolem i może tworzyć z formaldehydem żywice zbliżone do fenolowych. Produkowana żywica nie zawiera wystarczającej ilości formaldehydu i utwardza się dopiero przez mieszanie z formaldehydem w postaci proszku.

Żywicę Resinoliima AR należy przechowywać w szczelnie zamkniętych pojemnikach w pomieszczeniach suchych i temperaturze 5÷12°C. W tych warunkach można ją przechowywać do 3 lat.

Utwardzacz Resinokovett PK-1 należy przechowywać w szczelnie zamkniętych pojemnikach metalowych. Utwardzacz znajdujący się w pojemnikach otwartych może być używany w okresie do 3÷4 tygodni, przechowywany zaś w dobrych warunkach ma nieograniczony czas użytkowania.

Klej należy przygotowywać w czystych naczyniach emaliowanych, porcelanowych lub szklanych; nie wolno używać naczyń z resztkami kleju poprzednio przygotowanego. Do ciekłej żywicy wsypuje się utwardzacz i bardzo starannie miesza. Po wymieszaniu należy pozostawić klej w naczyniu na okres odstania się około 10 minut w celu usunięcia pęcherzyków powietrza.

Okres użytkowania kleju wynosi dla temperatury pokojowej do 4 godzin, w temperaturze wyższej, około 21° C, skraca się do około 2 godzin. Ilość dodawanego utwardzacza PK-1 do żywicy AR wynosi 15 części ciężarowych na 100 części ciężarowych żywicy.

Utwardzacz PK-1 drażni błony śluzowe.

Powierzchnia drewna powinna być przetarta drobnym papierem ściernym wzdłuż włókien i odpylona. Drewno powinno mieć wilgotność 8÷÷12%. Powierzchnie sklejane powinny być dobrze dopasowane. Klej należy nanosić obustronnie za pomocą pędzla lub drewnianej łopatki. Klejenie powinno się odbywać w pomieszczeniach o temperaturze powyżej 18° C i wilgotności względnej 55÷70%. Ponieważ klej ma konsystencję zawiesiny, nakładanie go na duże powierzchnie jest utrudnione ze względu na brak poślizgu. Wytwórnia poleca w takim przypadku dodawać 2÷4% alkoholu etylowego. Zużycie kleju wynosi około 200 g/1 m$^2$.

Po naniesieniu kleju należy zastosować przetrzymanie otwarte. Zależy ono od czasu, jaki upłynął od rozrobienia kleju i temperatury kleju oraz otoczenia. Waha się od 5÷15 minut.

Po przetrzymaniu otwartym części należy złożyć i wywrzeć docisk na powierzchniach klejonych. Docisk ten zależy od sztywności części klejonych i wynosi od 0,5 do 4 kG/cm$^2$. Po złożeniu części ze sobą i wywarciu docisku nie wolno części tych przesuwać względem siebie lub odrywać.

Czas przetrzymania w zaciskach zależy od temperatury otoczenia. Dla temperatury pokojowej wynosi około 24 godziny, w wyższych temperaturach spada do około 5 godzin. Czas ten można skrócić przez podgrzewanie, np. promiennikami podczerwieni.

Po zdjęciu zacisków następuje jeszcze okres sezonowania kleju. Dla temperatury otoczenia równej min. 18°C wynosi on 24 godziny. Sezonowania nie wolno przyspieszać przez podgrzewanie np. promiennikami podczerwieni. Po wysezonowaniu części można poddać dalszej obróbce. Całkowitą wytrzymałość skleina uzyskuje po upływie 7 dni.

Klej rezorcynowy AR ma odczyn obojętny, nie uszkadza włókien drzewnych i jest odporny na zimną i gorącą wodę, na kwasy i rozpuszczalniki oraz mikroorganizmy. Wykazuje lepsze własności wytrzymałościowe w pogrubianej spoinie niż klej AG. Pogrubiona skleina ma mniejszą wytrzymałość i wykazuje tendencję do pękania. Zasadniczą wadą jest wysoka cena kleju.

Klej AR podlega badaniom wytrzymałościowym na ścinanie skleiny normalnej i pogrubionej podobnie jak klej Aerolite 306.

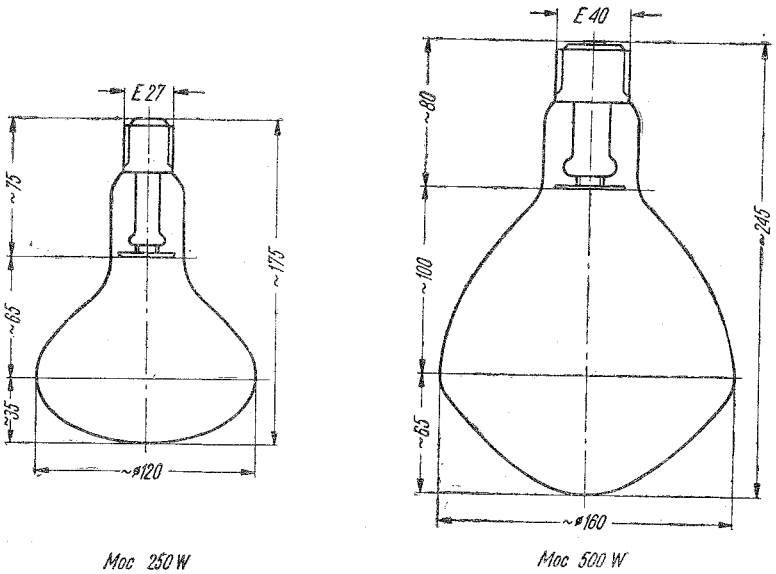
Klej AR ze względu na obojętny odczyn żywicy rezorcynowej może być stosowany do naprawy szybowców klejonych uprzednio klejem kazeinowym Certus (dającym odczyn alkaliczny w skleinach) oraz klejem fenolowo-formaldehydowym AG (dającym odczyn kwaśny w skleinach) po uprzednim usunięciu starych sklein.

Przedstawicielem kleju należącego do tej samej grupy jest klej Aerodux 185 produkowany przez firmę szwajcarską CIBA.

Skrócenie czasu utwardzania klejów można uzyskać przez ogrzanie sklejonych części lub stosowanie przyspieszaczy. Stosowanie grzania jest bardzo wygodne i znajduje szerokie zastosowanie w produkcji szybowców drewnianych.

Z kilku systemów grzania, jak reflektorowy, grzejnikami elektrycznymi (kontaktowy), prądami wysokiej częstotliwości i gorącym powietrzem, nagrzewanie reflektorowe jest najczęściej stosowane, gdyż dostarczanie ciepła do skleiny krzywoliniowej innymi metodami jest utrudnione. Polega ono na stosowaniu temperaturowych promienników podczerwieni, w których energia promieniowania powstaje z ciepła wydzielonego w przewodniku pod wpływem przepływającego przez niego prądu elektrycznego. Nie stosuje się promienników gazowych ze względu na obecność płomienia i zagrożenia pożarowe.

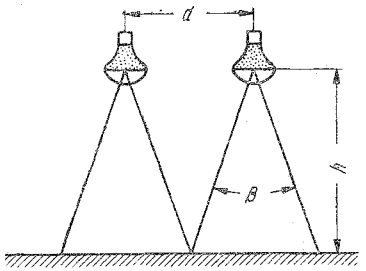
Produkowane ostatnio promienniki lampowe należą do grupy jasnych promienników podczerwieni, tzn. wysokotemperaturowych. Temperatura elementu promieniującego wynosi w nich 1400÷2400°C. Emitują one w zakresie widzialnym (kolor bardziej czerwony niż zwykłe żarówki) tylko 2% energii promieniowania (w zwykłych żarówkach około 12% mocy przypada na zakres widzialny, reszta na podczerwień) pozostałe zaś 98% mocy emitują w zakresie promieniowania podczerwonego. Na części paraboloidalnej mają wewnątrz naniesioną warstwę odbłyskową wykonaną z aluminium naparowanego w próżni. Moc promienników wynosi 250 W lub 500 W. Promienniki mają trzonki o normalnych gwintach żarówkowych. Wymiary promienników podaje rysunek 6-19.



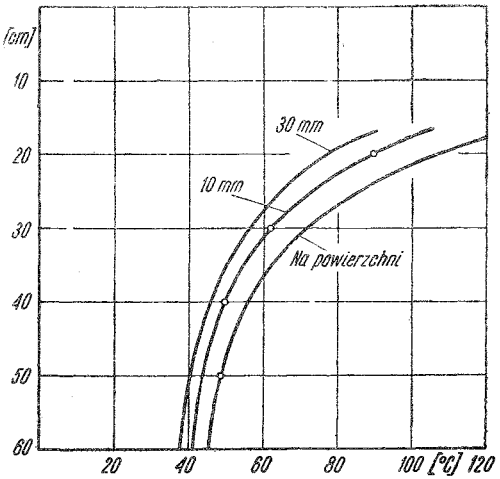

*Rys. 6-19. Polskie lampowe promienniki podczerwieni*

Rozkład przestrzenny natężenia promieniowania zależy od kształtu odbłyśnika. Zależność uzyskanej temperatury na powierzchni drewna sosnowego od odległości promiennika podano na rysunku 6-20.

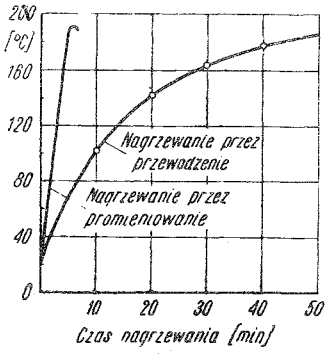
Przyjmuje się, że rozsył promieniowania ma kształt stożka o kącie rozwarcia β równym 30÷40°. Stąd otrzymuje się zależność pomiędzy rozstawem promienników a odległością od powierzchni grzanej (rys. 6-21):




*Rys. 6-21. Geometria rozsyłu promieniowania*




*Rys. 6-20. Zależność uzyskanej temperatury od odległości lampowego promiennika podczerwieni na powierzchni nagrzewanego drewna sosnowego oraz 10 mm i 30 mm pod powierzchnią*




*Rys. 6-22. Zależność różnych systemów grzania*

$$d = 2h \cdot \operatorname{tg}\frac{\beta}{2} \tag{6-6}$$

co przy kącie 30÷40° daje ogólną zależność:

$$h = 1{,}5d \tag{6-7}$$

W praktyce przy grzaniu promiennikami podczerwieni występuje nierównomierność napromieniowania powierzchni. Zależy ona od odległości promienników i rozstawu.

Przy klejeniu drewna lepsze wyniki uzyskuje się z grzania promiennikowego niż drogą przewodzenia, gdyż drewno ma niewielką wartość współczynnika przewodności cieplnej i musiałoby być długo nagrzewane. Różnicę obu systemów grzania pokazano na wykresie na rysunku 6-22.

O skuteczności metody nagrzewania promiennikowego decyduje zdolność materiału do pochłaniania energii promienistej. Głębokość wnikania energii zależy od stopnia przezroczystości materiału. Drewno miękkie ma większą zdolność pochłaniania energii niż drewno twarde. Znaczny wpływ na pochłanianie promieniowania podczerwieni ma również wilgotność drewna.

Stosowanie wysokich temperatur grzania ograniczone jest samym tworzywem. Drewno przy dłuższym działaniu temperatury powyżej 110°C wykazuje już pierwsze oznaki rozkładu. Temperatury podgrzewania kleju podane są przy omawianiu poszczególnych gatunków kleju.

### 6.7. WYKONYWANIE ZESPOŁÓW DREWNIANYCH

Przygotowywanie drewna na poszczególne zespoły szybowca zaczyna się zawsze od dźwigara głównego i najdłuższych elementów wzdłużnych. Robi się to ze względów ekonomicznych, gdyż najlepsze gatunkowo drewno powinno być zużytkowane na te zespoły. Z odpadów przygotowuje się drewno na inne, mniejsze zespoły.

Drewno przetarte powinno być długi czas sezonowane w celu uzyskania jednakowej wilgotności. Podczas sezonowania podlega ono skurczom i odkształca się. Drewno przygotowuje się z nadmiarem wystarczającym na uzyskanie zadanych wymiarów podczas obróbki wykańczającej. Długie listwy powinny być równo ułożone i oddzielone przekładkami.

Listwy skleja się przy zachowaniu właściwych kierunków słoi drewna, podanych w rozdziale 6.1. Można również łączyć poszczególne kawałki w jedną listwę przy zastosowaniu odpowiednich kątów ukosowania, podanych w rozdziale 6.5. Łączenia kilku listew nie powinny się zbiegać w jednym przekroju.

Przy sklejaniu muszą być zachowane właściwe warunki otoczenia, dotyczące wilgotności i temperatury. Wymagany docisk realizuje się przeważnie za pomocą zacisków śrubowych, klinowych lub mimośrodowych. Ten typ urządzeń jest prosty i wygodny w użyciu, daje jednak naciski nierównomierne i niekontrolowane. Naciski rozprowadza się przez stosowanie podkładek sztywnych lub sprężystych.

Praktycznie ustalone odległości pomiędzy zaciskami podano w tablicy 6-10. Zależą one od szerokości klejonych powierzchni.

Tablica 6-10

**Odległość pomiędzy zaciskami**

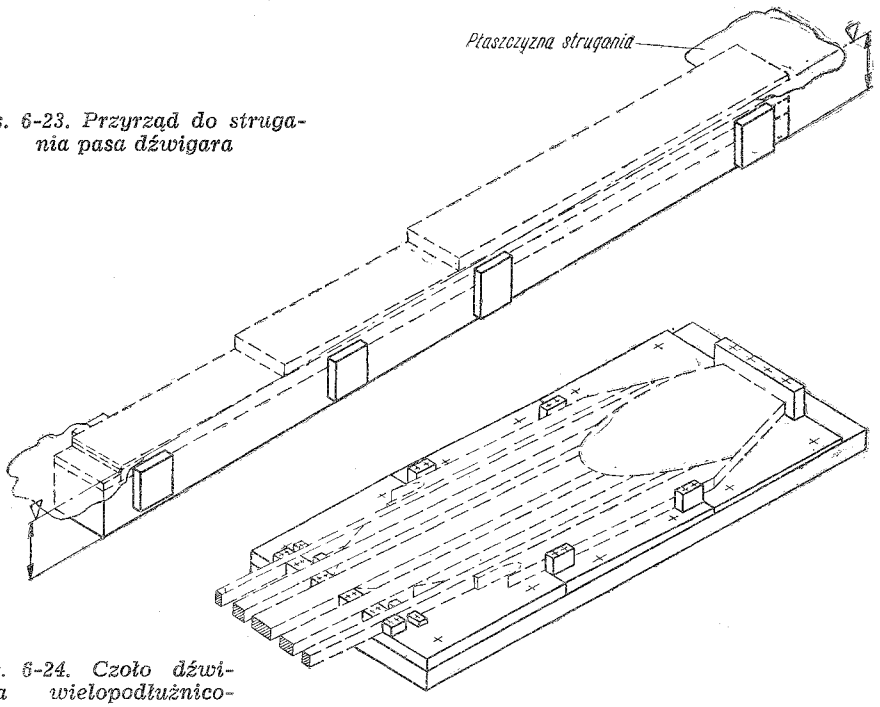
| Szerokość powierzchni klejonej [mm] | Największa odległość pomiędzy zaciskami [mm] |
|---|---|
| do 40 | 160 |
| 40÷60 | 130 |
| 60÷80 | 100 |
| 80÷100 | 80 |

Pasy dźwigarów mają zmienny przekrój wzdłuż rozpiętości, są grubsze u nasady dźwigara i zwężają się ku końcom, czyli są bardzo długim klinem. Ostateczny kształt nadaje się pasom przez struganie na strugarce grubościowej, przy użyciu przyrządu o wymiarach odwrotnych do wymiarów pasa (rys. 6-23).

W konstrukcjach wielopodłużnicowych specjalnej uwadze podlega wykonanie czoła, które jest uchwycone okuciem głównym. Przykład oprzyrządowania czoła dźwigara wielopodłużnicowego podano na rysunku 6-24.

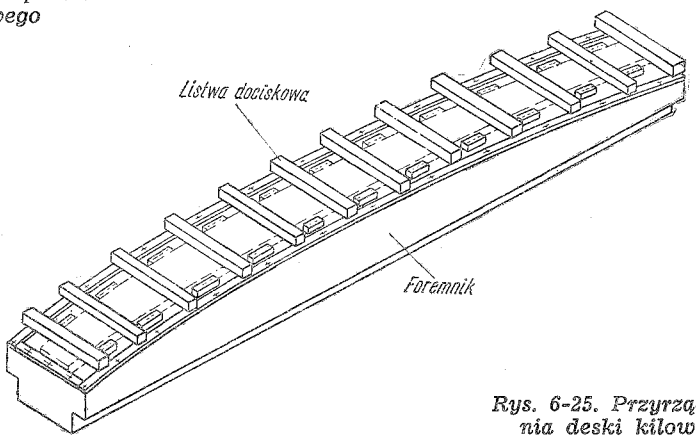
Zasadę klejenia desek kilowych i płóz przednich podano na rysunku 6-25.

Na płaszczyźnie roboczej foremnika umieszcza się wzornik przykręcony na obwodzie listwami. Według niego ułożone są klocki wyznaczające położenie elementu klejonego. Docisk wywiera się przez poprzeczne listwy dociskowe przyciskane zwornicami śrubowymi. Foremnik przyrządu ma występ, o który opiera się zwornice.



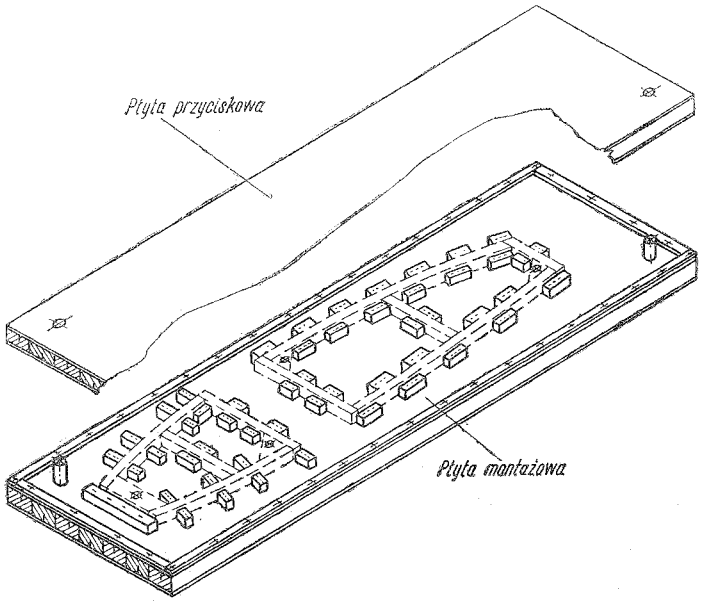

*Rys. 6-23. Przyrząd do strugania pasa dźwigara*

*Rys. 6-24. Czoło dźwigara wielopodłużnicowego*

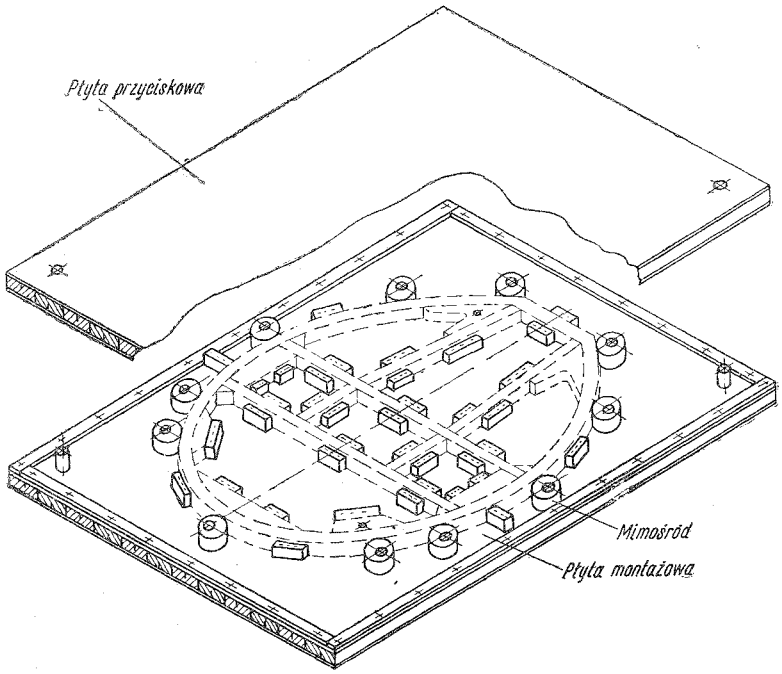



*Rys. 6-25. Przyrząd do klejenia deski kilowej i płozy*

Płaskie zespoły szybowca, takie jak żebra, wręgi i dźwigary wykonuje się na typowym oprzyrządowaniu (rys. 6-26 do 6-28). Są to płyty montażowe z przynależnymi płytami przyciskowymi. Płyty przyciskowe ustalane są dwoma kołkami.

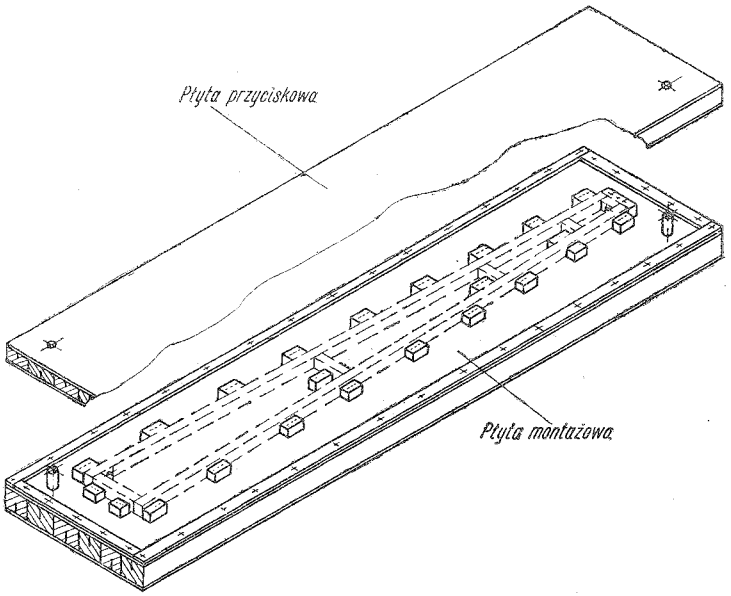



*Rys. 6-26. Typowy przyrząd do klejenia żebra*



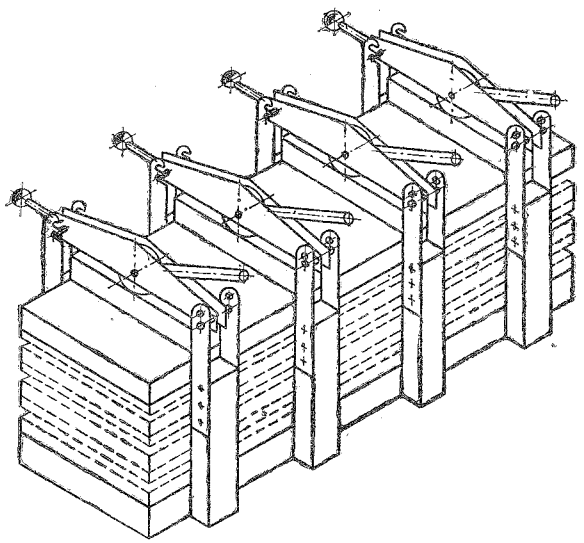

*Rys. 6-27. Typowy przyrząd do klejenia wręgi*

Płyta montażowa musi być sklejona z listew, aby nie ulegała paczeniu się. Na płyty montażowe można użyć fabrycznych płyt stolarskich. Przy własnym wykonaniu dobrze jest naciąć wzdłuż każdą listwę do połowy wysokości i układać listwy na przemian szczelinami raz do góry, raz do dołu. Sklejone listwy okleja się obustronnie sklejką. Do powierzchni pra-




*Rys. 6-28. Typowy przyrząd do klejenia dźwigarka*

cującej przytwierdza się wzornik. Przy produkcji prototypowej i małoseryjnej wystarczy wykorzystać rysunek konstrukcyjny i nałożyć na niego folię z przezroczystego tworzywa. Dla produkcji seryjnej stosuje się

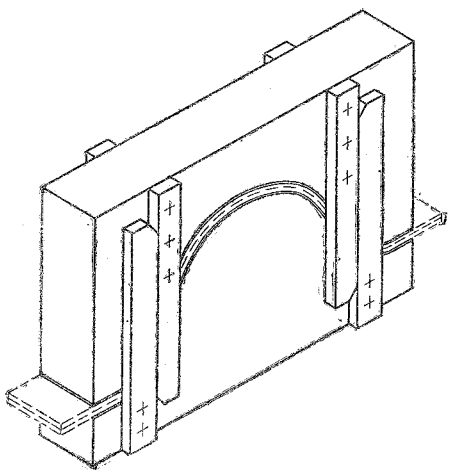


*Rys. 6-29. Prasa z ręcznymi zaciskami mimośrodowymi*

wzorniki metalowe zakonserwowane lakierem bezbarwnym, do którego nie przyczepia się klej.

Położenie poszczególnych listew wyznaczają klocki oporowe umiejscowione za pomocą kołków i śrub do drewna. Po nałożeniu kleju na wszystkie miejsca łączone nakłada się sklejkę tworzącą ściankę żebra lub wręgi i przyciska się całość płytą przyciskową. Docisk można wywierać ręcznymi zwornicami śrubowymi lub stosować prasy. Na rysunku 6-29 pokazano prasę z ręcznymi zaciskami mimośrodowymi. Do prasy można włożyć od razu kilka kompletów przyrządów do klejenia.

Sklejane zespoły, takie jak żebra, wręgi itp., składają się z pasów kształtowych o różnych promieniach krzywizn. Pasy te przygotowuje się osobno. Są one sklejane z kilku wąskich listew szerokości 2÷3 mm. Sklejanie pasów czyni je mocniejszymi i pozwala dokładnie zachować żądany kształt, bez wprowadzania naprężeń wstępnych do klejonego zespołu.



*Rys. 6-30. Przyrząd do klejenia pasów kształtowych*

Pasy gnie się i skleja w oddzielnych przyrządach. Przykład oprzyrządowania podano na rysunku 6-30. Należy zwrócić uwagę, że listwy przeznaczone do wykonania pasów przygotowuje się kilkakrotnie szersze od właściwej szerokości pasa. Pozwala to na płynne ułożenie się drewna na foremniku i nie dopuszcza do miejscowych przekręceń.

Podczas klejenia listew konieczne jest przesuwanie względem siebie dwóch płaszczyzn posmarowanych klejem. Jest to zjawisko bardzo niekorzystne dla jakości połączenia klejowego, dlatego czynności nałożenia masy klejowej i poszczególnych listew na foremnik należy wykonywać jak najszybciej, aby części klejone znalazły się pod dociskiem przed okresem twardnienia kleju.

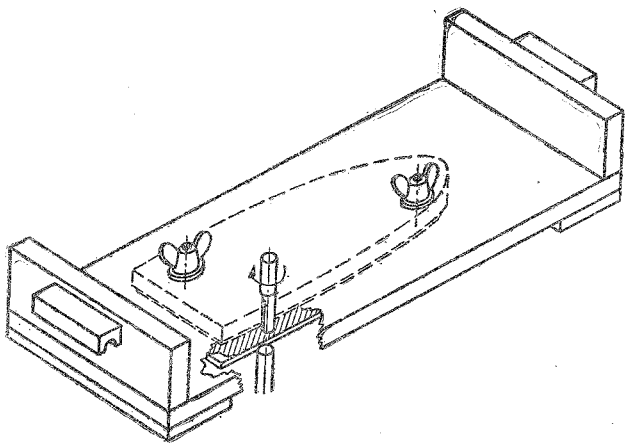
Po sklejeniu listew szerokich wyrównuje się jedną płaszczyznę na strugarce i przecina je kolejno na frezerce dolnowrzecionowej na żądaną wysokość. Tak przygotowane pasy kształtowe wykorzystuje się przy zestawianiu żeber, wręg itp.

Omawiane zespoły wykonuje się z lekkim nadmiarem na obwodzie. Po sklejeniu zespół oczyszcza się z zacieków i poddaje obróbce wykańczającej na frezarko-kopiarce. Do frezowania służy specjalny przyrząd (rys. 6-31).

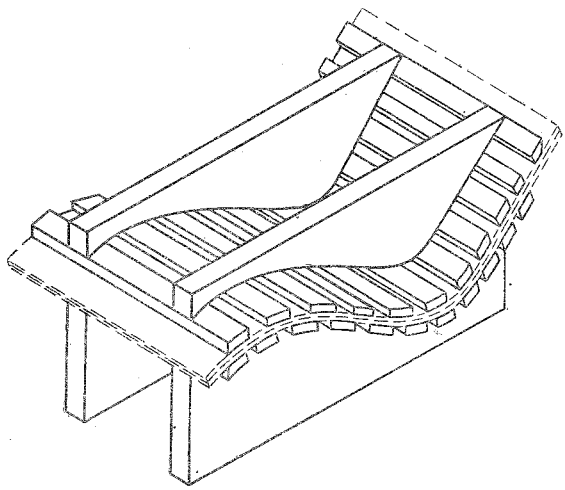
Rysunek pokazuje frezowanie żebra na frezarce górnowrzecionowej. Do przyrządu przykręca się z góry część frezowaną oraz od spodu wzornik. Ze względów bezpieczeństwa przy pracy, każde frezowanie musi się odbywać za pomocą podobnego przyrządu, który ma uchwyty ręczne umieszczone za osłonami.

W szybowcu występują również części mające osobno formowane i klejone pokrycia sklejkowe. Cienkie sklejki łatwiej układają się do żądanej krzywizny, a po sklejeniu dają pokrycia sztywniejsze.

Pokrycia sklejkowe klejone są w przyrządach. Przykład przyrządu do klejenia pokrycia sklejkowego siodełka podano na rysunku 6-32. Foremnik wykonany jest z gęsto ułożonych listew umieszczonych na dwu bel-



*Rys. 6-31. Przyrząd do frezowania żebra*



*Rys. 6-32. Przyrząd do klejenia pokrycia sklejkowego siodełka*

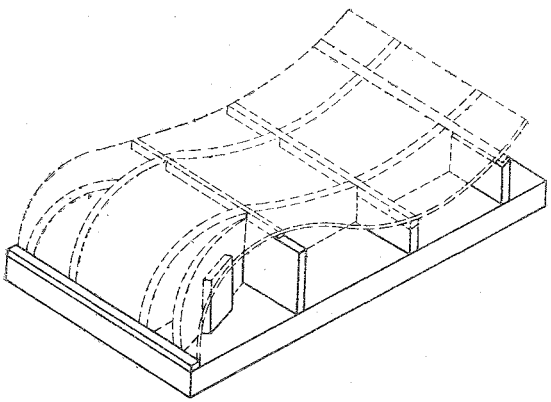
kach. Cały zespół siodełka składa się i skleja w przyrządzie montażowym (rys. 6-33). Przyrząd wyznacza położenie dźwigarków siodełka i ścianek. Pokrycie sklejkowe przykleja się do szkieletu za pomocą gwoździkowania.

Inny rodzaj pokryć sklejkowych stosuje się w skrzydłach, lotkach i usterzeniach.

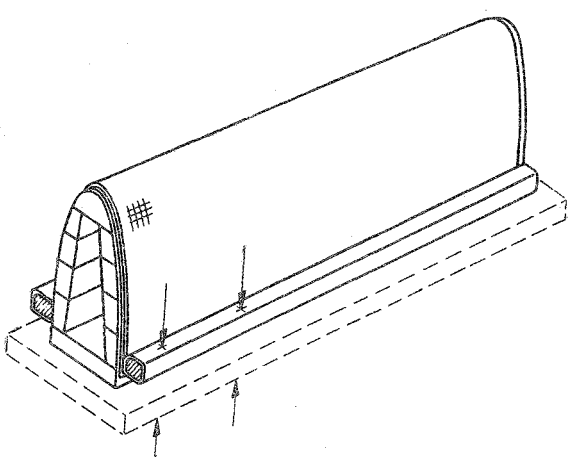
Gdy stosowany jest duży promień zaokrąglenia sklejki (w szybowcach szkolnych i treningowych), wówczas proces budowy polega na wykonaniu szkieletu z dźwigara i żeber i naklejania pokrycia sklejkowego jed-

nowarstwowego, wstępnie uformowanego. Po wyparzeniu sklejkę nakłada się wówczas na foremnik i obciąga szerokimi taśmami lub brezentem na całej długości (rys. 6-34). Należy zwrócić uwagę na właściwy dobór kierunków włókien w sklejce, zgodny z dokumentacją.

Obwód przyciętego pokrycia według wzornika rozwinięcia należy zukosować do połączenia z drugim arkuszem. Praktycznie jest sklejkę



*Rys. 6-33. Przyrząd montażowy siodełka*



*Rys. 6-34. Formowanie sklejki pokryciowej*

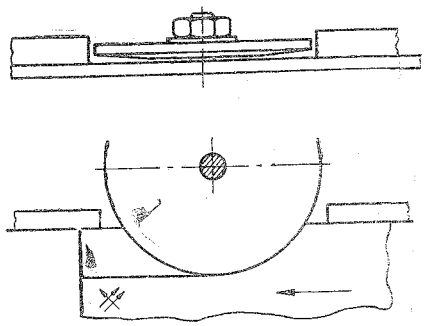
zukosować na szlifierce tarczowej o pionowej osi. Ukosowanie wynosi 1:15 (rys. 6-35).

Sklejanie pokrycia sklejkowego lotek i usterzeń z dwóch warstw cienkiej sklejki odbywa się również na foremniku. Oprócz zastosowania docisku za pomocą taśm lub brezentu można użyć docisk podciśnieniowy (rys. 6-36).

Spod płaszcza otaczającego foremnik z nałożonymi sklejkami wypompowuje się powietrze. Przy zastosowaniu klejów wolnowiążących można użyć nagrzewanie podczerwiennikowe. Pokrycie sklejone z dwóch warstw

nie ma tendencji skręcania się śrubowo, tak jak grubsze pokrycie jednowarstwowe.

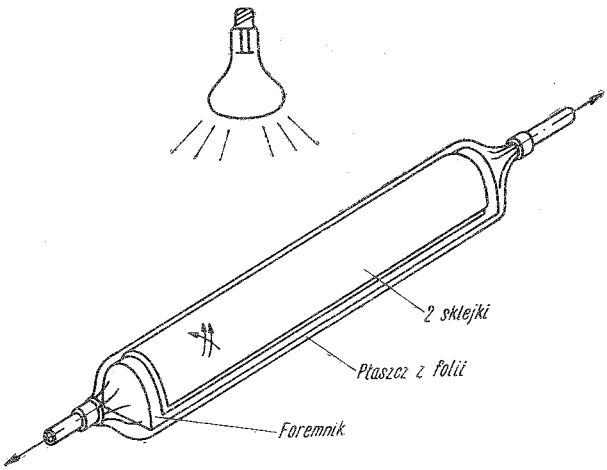
Nowoczesne konstrukcje szybowców wysokiej klasy wymagają bardzo dokładnego wykonania powierzchni zewnętrznych. Dopuszczalne odchyłki na górnej lub dolnej połowie profilu aerodynamicznego od profilu teoretycznego (wzornika) wynoszą przykładowo dla skrzydła, -05 mm w części przedniej (do 60% długości cięciwy) i -1,0 mm w części dalszej profilu, dla usterzeń -1,5 mm.



*Rys. 6-35. Schemat ukosowania arkusza sklejki*

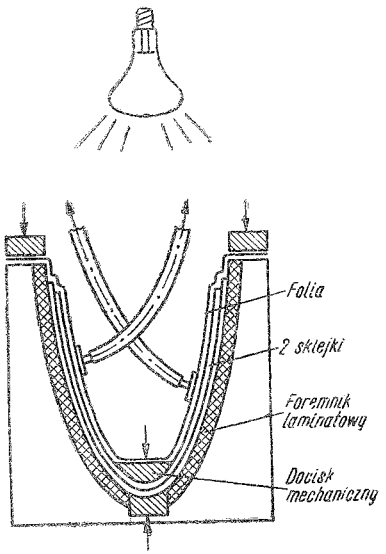
Konstrukcje szybowców szkolnych i treningowych mają sklejkę pokryciową o grubości 0,8÷1,5 mm, podczas gdy inne rozwiązania mają pokrycia sklejkowe od 1,5 mm wzwyż. W celu uzyskania dokładnego kształtu na stronie zewnętrznej pokrycia, trzeba formować je na foremnikach negatywowych.

Spotyka się dwa rozwiązania konstrukcyjne grubych pokryć sklejkowych. Jedno przewiduje wykonanie pokrycia sklejkowego z jednej całości w partii noskowej, drugie przewiduje wykonanie oddzielne dwóch połówek pokrycia i łączenie ich w partii noskowej szeroką listwą natarcia.




*Rys. 6-36. Schemat klejenia podciśnieniowego*

Na rysunku 6-37 pokazano sposób klejenia poszczególnych warstw sklejkowych pokrycia z jednej całości w partii noskowej, w foremniku negatywowym wykonanym z laminatu. Przy klejeniu stosuje się dwa rodzaje docisków. W celu dokładnego przyciśnięcia sklejki do dna foremnika daje się listwę profilową przyciśniętą mechanicznie, całą zaś powierzchnię dociska się podciśnieniem. Powietrze wyciąga się spod płaszcza z siatki z tworzywa sztucznego oraz folii igelitowej. Sklejki formuje się wstępnie na foremniku pozytywowym, parując i obciągając na gorąco.

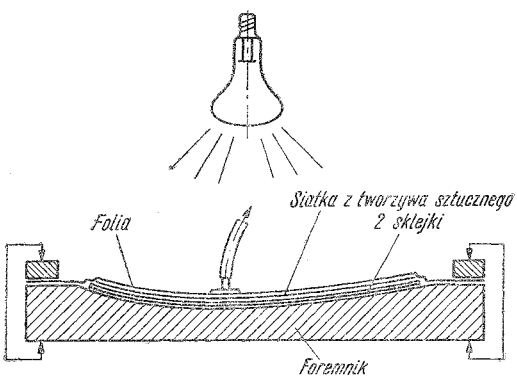



*Rys. 6-37. Schemat klejenia pokrycia warstwowego*

Po upływie 8 godzin sklejki częściowo przesuszone należy zdjąć z foremnika, dogiąć na nieco mniejszy promień i suszyć indywidualnie przez następne 24 godziny. Tak przygotowane sklejki nadają się do wspólnego klejenia.

Klej nanosi się na obie powierzchnie klejone. Po ich złożeniu nakłada się siatkę z tworzywa sztucznego o wielkości oczek 2×2 mm i grubości około 0,5 mm i folię igelitową. Folię uszczelnia się dokładnie na całym obwodzie. W folii znajdują się zmontowane zawory ssące w liczbie trzech sztuk na każdy 1 $m^2$ powierzchni klejonej. Siatka podłożona pod folię pozwala na zachowanie drożności pod przykryciem na całej powierzchni.

W celu kontroli jakości klejenia dobrze jest podłożyć jednocześnie pod folię próbkę ze sklejek, którą można po sklejeniu zbadać na rozwarstwianie się pokrycia. Podciśnienie mierzone wakuometrem powinno wynosi co najmniej 0,5 kG/$cm^2$.




*Rys. 6-38. Schemat klejenia połówek pokrycia warstwowego*

Rozdział 7

# WYKONYWANIE CZĘŚCI LAMINATOWYCH

## 7.1. MATERIAŁY

Laminaty są to tworzywa warstwowe zawierające w sobie wypełniacz nasycony utwardzonymi żywicami. Zastosowanie laminatów w budowie szybowców drewnianych umożliwiło przede wszystkim poprawne wykonanie wszystkich pokryć o płaszczyznach nierozwijalnych oraz zastąpienie nimi części wykonywanych dotychczas z blachy.

Tak więc pokrycia przodu kadłuba, przejścia skrzydło-kadłub, kadłub--usterzenie, wykonywane dawniej z żmudnie klejonych pasków sklejki, wykonuje się dziś z laminatów. Podłogi, burty, siedzenia, tablice przyrządów pokładowych, kołpaki, błotniki, zakończenia skrzydeł i usterzeń również są wykonywane z laminatów.

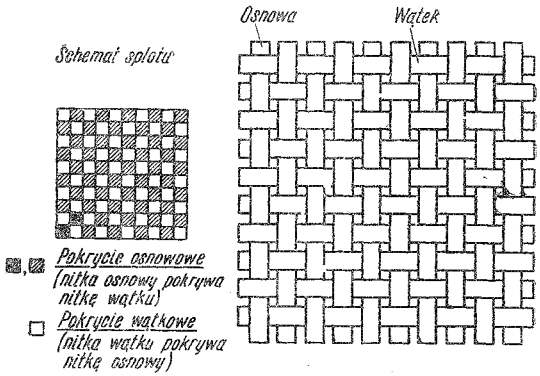
Laminaty są tworzywem o ciężarze właściwym 1,6÷1,9 g/cm$^3$. Dużą zaletą stosowania laminatów w budowie szybowców jest możliwość otrzymywania gładzi jednej z dwóch powierzchni. Praktycznie powierzchnię otrzymuje się tak gładką i równą jak foremnik, na którym wykonuje się laminat. Laminat można ciąć, wiercić, frezować, nitować, kleić i malować. Dodatkową zaletą jest możliwość łączenia laminatu z inną częścią w czasie formowania; unika się przez to typowych połączeń, takich jak nitowanie lub łączenie za pomocą śrub. Tworzywo to umożliwia konstruktorowi projektowanie rozwiązań integralnych. Ponadto laminat jest bardzo odporny na warunki atmosferyczne.

W konstrukcji szybowców stosuje się jako wypełniacz tkaninę z włókna szklanego, a do przesycania — żywice poliestrowe lub epoksydowe.

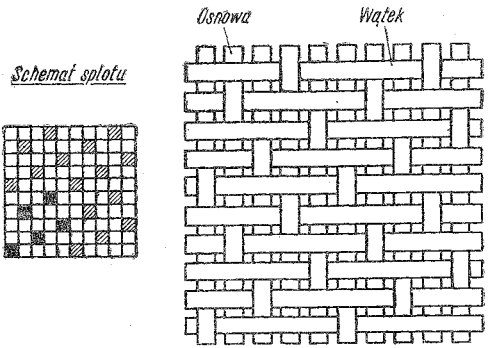
Żywice są utwardzane po uformowaniu laminatu. Do utwardzania żywic poliestrowych stosuje się cykloheksanon w postaci pasty HCH, zaś do żywic epoksydowych — trójetylenoczteroaminę, inaczej utwardzacz Z-1, który ma własności toksyczne i wymaga ostrożności przy produkcji. Utwardzanie jest reakcją nieodwracalną. Przy utwardzaniu żywic poliestrowych w temperaturze pokojowej, a więc niskiej, stosuje się aktywator, dzięki któremu żywica utwardza się szybko, w ciągu kilku godzin. Żywica poliestrowa jest tańsza od epoksydowej, szybciej się utwardza i jest mniej wrażliwa na niedokładne dozowanie utwardzacza, lecz ma większy skurcz (5÷10% objętości, epoksydowa zaś 1% objętości) oraz jest mniej odporna na warunki atmosferyczne.

Jako wypełniacza używa się tkaninę z włókien szklanych. Znane są inne rodzaje wypełniaczy, jak maty i pasma z włókna szklanego, ale nie znalazły one zastosowania w częściach szybowcowych.

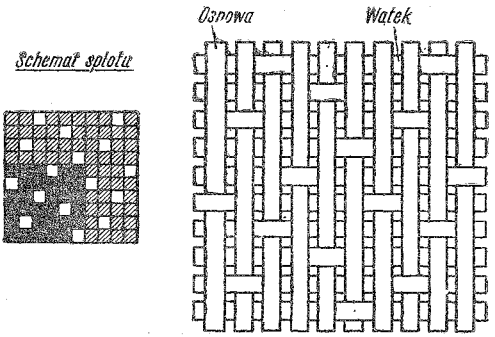
Tkaniny szklane produkowane są o różnym splocie (rys. 7-1 do 7-3). Splot atłasowy pozwala na łatwe układanie się tkaniny na foremniku oraz dobre przesycanie żywicą. Własności tkanin szklanych, zgodne z normą BN-64/7598-03, podano w tablicy 7-1.




*Rys. 7-1. Splot płócienny 1:1*




*Rys. 7-2. Splot satynowy 1:4*




*Rys. 7-3. Splot atłasowy 5:1*

Tkaniny należy przechowywać w pomieszczeniach suchych, przewiewnych i nie nasłonecznionych, w warunkach zabezpieczających je przed zatłuszczeniem, zabrudzeniem oraz uszkodzeniem mechanicznym i chemicz-

Tablica 7-1

Własności tkanin technicznych szklanych według BN-64/7598-03

| Rodzaj | Jednostka miary | Gatunek | | |
|---|---|---|---|---|
| | | St 21 | St 31 | St 19 |
| Długość nie mniej niż | m | 40÷60 | 40÷60 | 95÷210 |
| Szerokość | cm | 110±2,0 | 110±2,0 | 80±1,5<br>100±1,5 |
| Ciężar | g/cm² | 502±25 | 480±24 | 133±7 |
| Liczba nitek na 10 cm | O | 755±20 | 755±20 | 187±4 |
| | W | 150±30 | 85±3 | 190±8 |
| Grubość przy nacisku mierniczym 50 g/cm² | mm | 0,70±0,1 | 0,65±0,1 | 0,12±0,02 |
| Wytrzymałość na rozrywanie nie mniej niż | O kG | 270 | 270 | 105 |
| | W | 220 | 180 | 100 |
| Wydłużenie przy rozrywaniu nie mniej niż | O | 6,0 | 6,0 | 5,0 |
| | W | 6,0 | 6,0 | 4,5 |
| Splot | | $\frac{1}{4}$ (2) | $\frac{1}{4}$ (2) | $\frac{1}{1}$ |

nym. Układać należy na kratownicach drewnianych w odległości co najmniej 10 cm od podłogi oraz 50 cm od ścian, przewodów grzejnych, kanalizacyjnych lub wodociągowych.

Szkło używane do wytwarzania tkanin musi być bezalkaliczne ze względu na odporność laminatu na działanie wilgoci. Wilgoć zmniejsza spoistość szkła i żywicy. Ważny jest też rodzaj stosowanej apretury. Musi ona być odporna na wilgoć i wiązać się chemicznie ze szkłem i żywicą.

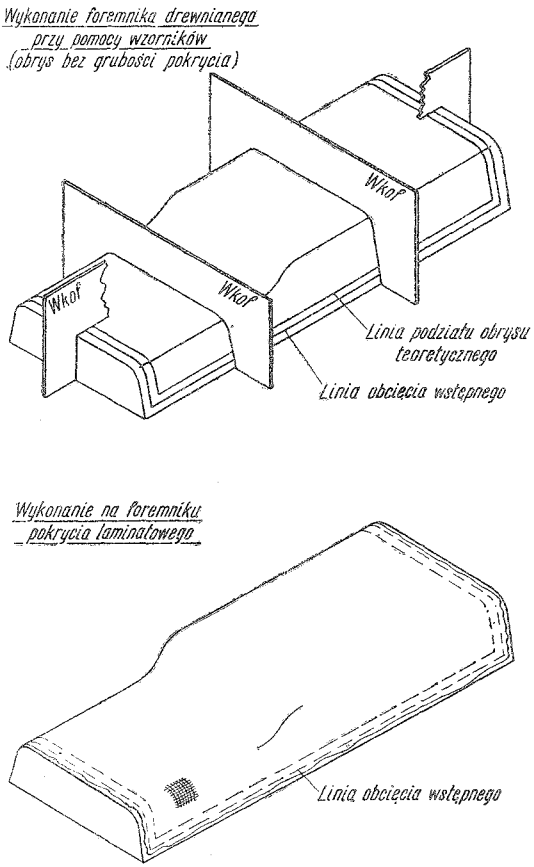
Średnica włókna szklanego, liczba włókien i skrętów nitki na 1 mb oraz rodzaj splotu wpływa na wytrzymałość laminatu.

## 7.2. LAMINOWANIE

Laminat formuje się w temperaturze pokojowej na przygotowanym foremniku. Foremnik może być wykonany z drewna, gipsu lub też z laminatu. Jeżeli końcowy produkt ma mieć gładź po stronie zewnętrznej, należy wykonać model jako pozytyw z drewna, na nim wykonać foremnik negatywowy z laminatu, wtedy gładź będzie od strony wewnętrznej foremnika i na nim dopiero formować właściwy produkt (rys. 7-4).

Przykład wykonania pokryć laminatowych z gładzią zewnętrzną podano na rysunkach 7-5 i 7-6. Przy tym sposobie wykonywania trzeba

dobrze zwrócić uwagę na grubość ścianki formowanego przedmiotu. Ponieważ gładź foremnika i wierność kształtu decydują o jakości wykonanej części, należy odpowiednio wykonać foremnik.



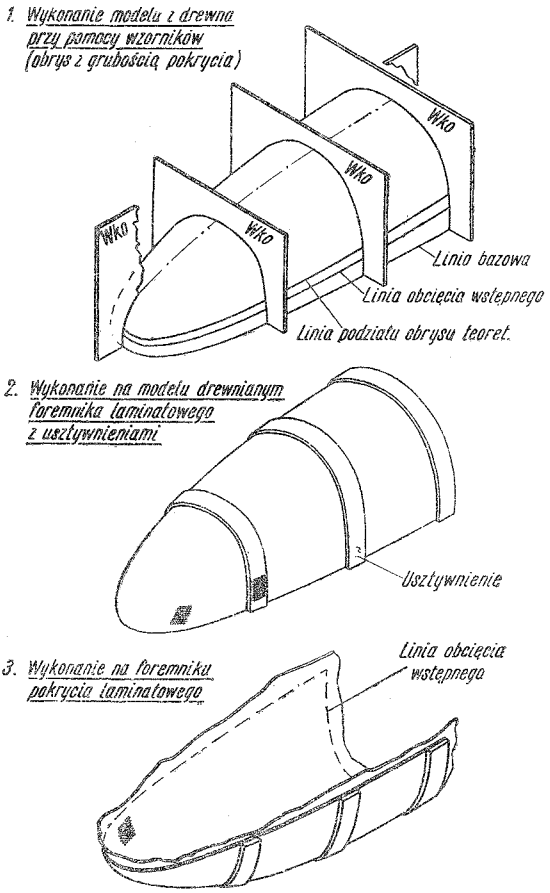

*Rys. 7-4. Wykonanie pokrycia laminatowego*

Żywica, którą przesyca się tkaninę, ma tendencję do przyklejania się do foremnika, dlatego między foremnik a wykonywany laminat należy zastosować odpowiednią warstwę rozdzielacza. Skomplikowany kształt formowanego przedmiotu może być również przyczyną trudnego wyjęcia go z foremnika bez rozdzielacza.

Zależnie od warunków formowania, można stosować rozdzielacze w postaci płynnej, pasty lub folii. Najczęściej spotyka się powierzchnie nierozwijalne, na których trudno jest ułożyć folię bez jej pofałdowania.

O doborze warstwy rozdzielczej decyduje jeszcze jeden czynnik, a mianowicie, czy gotowy laminat ma być malowany na powierzchni, którą przylega do foremnika, czy też nie. W przypadku powierzchni niemalowanej można stosować pasty zawierające woski naturalne lub sztuczne. Powierzchnię foremnika należy dobrze odtłuścić i na nią nanieść pastę. Jeżeli powierzchnia laminatu jest przeznaczona do malowania, nie można stosować past, gdyż nie da się powierzchni laminatu odpowiednio od-

czyścić przed malowaniem, wskutek czego nałożony wyrób lakierniczy szybko odpryskuje. Wówczas stosuje się specjalną warstwę z roztworu wodnego alkoholu poliwinylowego, tzw. mieszaninę PWSG.



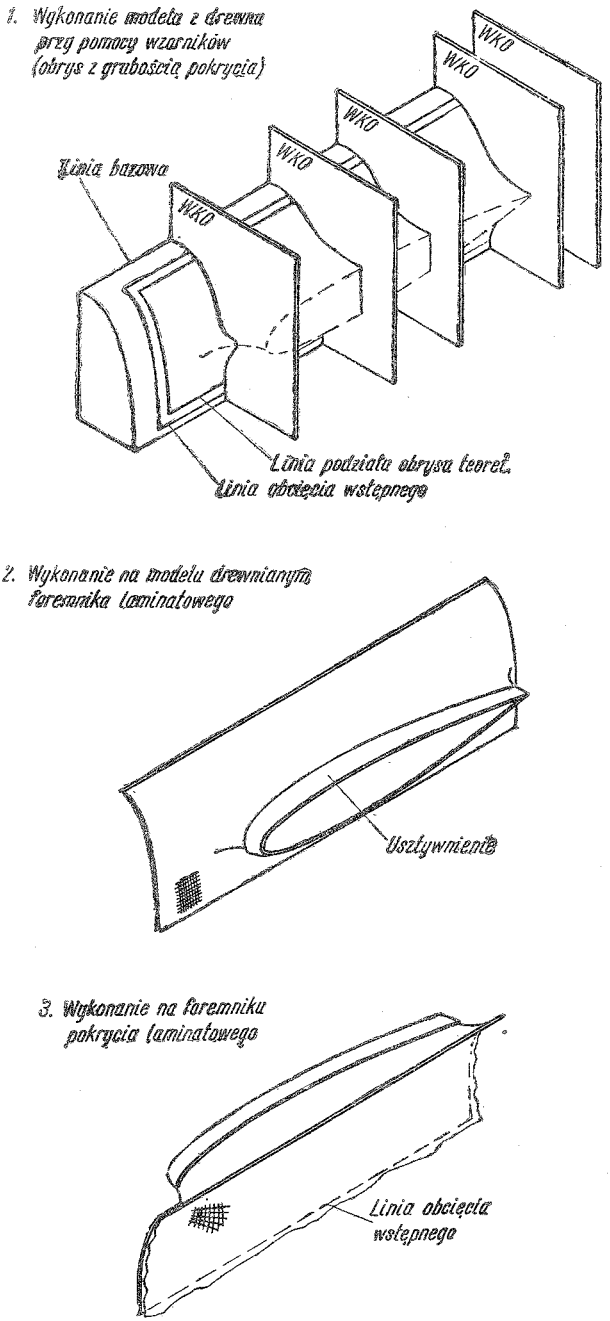

*Rys. 7-5. Sposób wykonania pokrycia laminatowego z gładzią zewnętrzną*

Skład mieszaniny jest następujący: w 45 częściach ciężarowych gorącej wody (60÷70°C) rozpuścić 10 części ciężarowych alkoholu poliwinylowego i razem wymieszać, następnie dodać 45 części ciężarowych alkoholu etylowego skażonego (denaturat) lub alkoholu metylowego (trujący) i mieszać. Dodać można jeszcze 5 części ciężarowych gliceryny. Tak przyrządzoną mieszaninę nakłada się na foremnik pędzlem. Po wyschnięciu tworzy się z niej cienka błonka izolująca.

Przystępując do laminowania wycina się przy użyciu nożyc ręcznych lub mechanicznych najpierw odpowiedni kształt z tkaniny, która dostarczana jest przez wytwórcę w postaci zwojów na sztywnych rolkach o średnicy 6 cm. Tkaninę rozcina się tak, aby pozostał jeszcze nadmiar tkaniny na bokach foremnika.

Następnie przygotowuje się żywicę. Przy zastosowaniu żywicy poliestrowej (Polimal 109) należy na 100 części ciężarowych żywicy dodać 4 części utwardzacza, czyli katalizatora, którym jest pasta HCH (cyklohek-

sanon) i starannie wymieszać, następnie należy dodać 0,4 części aktywatora, czyli przyspieszacza, którym jest naftenian kobaltu i starannie wymieszać. Tak przyrządzona żywica ma żywotność około 40 minut. Po zgalareceniu żywica nie nadaje się do laminowania, gdyż nie przesyca tkaniny.




*Rys. 7-6. Sposób wykonania pokrycia laminatowego z gładzią zewnętrzną*

Ze względu na konieczność dokładnego dozowania naftenianu kobaltu, przy przygotowywaniu małych ilości żywicy należy posługiwać się biuretą.

Przy stosowaniu żywicy epoksydowej (Epidian 5) należy na 100 części ciężarowych żywicy dodać 10 części rozcieńczalnika (eter butyloglicydowy) i starannie wymieszać, następnie żywicę odstawić, aby znikły pęcherzyki powietrza, potem dodać 12 części utwardzacza Z1 (trójetylenoczteroamina, inaczej TECZA) i starannie wymieszać, uważając, aby nie tworzyć pęcherzyków powietrza. Tak przyrządzona żywica ma żywotność około 50 minut.

Po przyrządzeniu żywicy przystępuje się natychmiast do laminowania. Żywicę nakłada się najpierw cienką warstwą pędzlem na foremnik, następnie nakłada się przygotowaną tkaninę i mocno dociska do foremnika, stosując tzw. tampowanie pędzlem. W ten sposób tkanina się przesyca. Teraz nakłada się drugą warstwę żywicy, smarując pędzlem.

Liczba nakładanych warstw tkaniny zależy od przewidzianej grubości w dokumentacji. Najczęściej stosuje się dwie warstwy tkaniny.

Przesyconą tkaninę zostawia się na foremniku i suszy około 12 godzin w temperaturze pokojowej. Proces suszenia można przyspieszyć przez suszenie w temperaturze 30÷35°C.

Wszystkie naczynia i narzędzia należy natychmiast przemyć w rozpuszczalniku nitro.

Laminaty formowane sposobem ręcznym wykazują w czasie utwardzania tendencję do zatrzymywania pęcherzy powietrznych pomiędzy foremnikiem a laminatem lub wewnątrz niego. Dlatego zaformowany laminat należy przeglądać jeszcze w stanie miękkim i odpowiednim kolcem przekłuć pęcherz i docisnąć pędzlem do formy.

Po wyschnięciu, laminat zdejmuje się podważając boki; można też użyć końcówkę ze sprężonym powietrzem. Nadmiar tkaniny obcina się nożycami ręcznymi lub mechanicznymi. Gładź laminatu powinno się przemyć benzyną ekstrakcyjną lub tri. Wszelkie ubytki na uformowanym laminacie można uzupełnić specjalnie przygotowanym kitem szpachlowym.

Do laminatu poliestrowego stosuje się kit o następującym składzie (w częściach ciężarowych):

— żywica poliestrowa (Polimal 109) — 100 części,
— utwardzacz — pasta HCH (cykloheksanon) — 4 części
razem mieszać przez 3 min,
— przyspieszacz — naftenian kobaltu — 0,4 części
razem mieszać przez 3 min,
— wypełniacz — talk techniczny lub kreda — dodawać aż do konsystencji pasty, mieszać 5 min.

Tak przygotowany kit ma żywotność około 25 min, w temperaturze 20°C.

Do laminatu epoksydowego używa się kit o następującym składzie (w częściach ciężarowych):

— żywica epoksydowa „Epidian 5" — 100 części
— rozcieńczalnik — eter butyloglicydowy — 15 części
razem mieszać przez 10 min,
— utwardzacz — trójetylenoczteroamina (TECZA) — 15 części
razem mieszać przez 5 min,

— wypełniacz — talk techniczny lub kreda, dodawać aż do konsystencji pasty, mieszać przez 5 min.

Tak przygotowany kit ma żywotność około 40 min, w temperaturze 20°C.

### 7.3. KLEJENIE

Laminaty zarówno poliestrowe, jak i epoksydowe można przyklejać do drewna, sklejki, metalu lub szkła organicznego, na zimno klejem epoksydowym. Klej przygotowuje się ze składników w następującej kolejności:

— żywica epoksydowa „Epidian 5" — 100 części
— wypełniacz — cement portlandzki „350" — 65 części

razem mieszać przez 5 min;

bezpośrednio przed użyciem dodać:

— utwardzacz Z-1 — trójetylenoczteroamina (TECZA) — 13 części

razem mieszać przez 5 min i wstawić do naczynia z zimną wodą, w celu przedłużenia żywotności.

Niedopuszczalne jest dostanie się wody do kleju. Żywotność kleju wynosi około 30 min. W celu otrzymania kleju bardziej płynnego, można dodać rozcieńczalnika w postaci eteru butyloglicydowego w ilości 10 części ciężarowych w stosunku do żywicy Epidian 5. Klej nanosi się dwustronnie na oczyszczone i odtłuszczone powierzchnie za pomocą pędzla lub łopatki drewnianej.

Przed wywarciem docisku na części klejone należy zastosować przetrzymanie otwarte przez około 10 minut oraz przetrzymanie zamknięte przez 20 minut.

Po przetrzymaniu należy wywrzeć docisk 1 kG/cm$^2$ przez co najmniej 6 godzin. Należy utrzymać temperaturę pokojową.

Po zdjęciu zacisków spoiny klejowe należy sezonować w ciągu 24 godzin w temperaturze pokojowej.

### 7.4. MALOWANIE

Wyrobów chemoutwardzalnych nie stosuje się do pokrywania zewnętrznych powierzchni szybowca ze względu na ich niezmywalność. Natomiast mogą one znaleźć zastosowanie w poszczególnych częściach szybowca drewnianych lub laminatowych. Pokrycia chemoutwardzalne charakteryzuje duża odporność na czynniki niszczące. Można je również zmywać wodą bez utraty połysku.

Wyroby chemoutwardzalne są wyrobami dwuskładnikowymi. Oprócz emalii stosuje się jeszcze utwardzacz. W utwardzaczu obecny jest kwas (najczęściej kwas solny), dlatego wyroby chemoutwardzalne nie nadają się do nakładania na metal. Nie należy ich przygotowywać w naczyniach metalowych. Oba składniki miesza się dopiero przed użyciem. Utwardzanie emalii następuje wskutek reakcji jej z utwardzaczem. Po wymieszaniu emalię należy odstawić na około 30 minut, a potem można ją natry-

Tablica 7-2

**Schemat operacji malowania części laminatowych emalią chemoutwardzalną**

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Szlifować na sucho. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 60÷80 | | | | |
| 2 | Szpachlować ręcznie. Suszyć | Żywica epoksydowa z dodatkiem talku | | | 20÷50 | 2 |
| 3 | Szlifować na sucho. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 60÷80 | | | | |
| 4 | Szpachlować ręcznie. Suszyć | Żywica epoksydowa z dodatkiem talku | | | 20÷50 | 2 |
| 5 | Szlifować na sucho używając klocka gumowego | Papier ścierny o ziarnie 80÷100 | | | | |
| 6 | Szlifować na mokro. Suszyć | Papier ścierny wodoodporny o ziarnie 80÷100 | | | 20÷50 | 2 |
| 7 | Natrysnąć 1× pistoletem warstwę emalii. Suszyć | Emalia chemoutwardzalna Symbol wyrobu 44/xx/127, z utwardzaczem. Symbol wyrobu 49/00/66 (150 G utwardzacza na 1 kG emalii) | 35 | 2,5 | 18÷20 | 6 |
| 8 | Szpachlować ręcznie. Suszyć | Żywica epoksydowa z dodatkiem talku i bieli cynkowej | | | 20÷50 | 2 |
| 9 | Szlifować na mokro. Suszyć | Papier ścierny wodoodporny o ziarnie 200 | | | 20÷50 | 2 |
| 10 | Natrysnąć 1× pistoletem warstwę emalii. Suszyć | Emalia chemoutwardzalna Symbol wyrobu 44/xx/127 z utwardzaczem Symbol wyrobu 49/00/66 (150 G utwardzacza na 1 kG emalii) | 35 | 3÷4 | 18÷20 | 12 |
| 11 | Szpachlować ręcznie. Suszyć | Żywica epoksydowa z dodatkiem talku i bieli cynkowej | | | 20÷50 | 3 |
| 12 | Szlifować na mokro. Suszyć | Papier ścierny wodoodporny o ziarnie 200 | | | 20÷50 | 2 |
| 13 | Natrysnąć 1× pistoletem warstwę emalii. Suszyć | Emalia chemoutwardzalna Symbol wyrobu 44/xx/127 z utwardzaczem Symbol wyrobu 49/00/66 (150 G utwardzacza na 1 kG emalii) | 35 | 3÷4 | 18÷20 | 12 |

skiwać. Do rozcieńczenia stosuje się rozcieńczalnik o symbolu wyrobu 48/00/240. Emalię można stosować bez podkładu. Okres żywotności zmieszanej emalii z utwardzaczem wynosi około 24 godzin; po tym czasie mieszanina żeluje i nie nadaje się do użytku.

Schemat operacji malowania części laminatowych emalią chemoutwardzalną podano w tablicy 7-2.

Rozdział 8

# MONTAŻ PODZESPOŁÓW

Poszczególne grupy wykonawcze szybowca łączone są ze sobą za pomocą metalowych okuć nośnych. Na innych okuciach metalowych zawieszone są napędy sterów, lotek itp.

Przy budowie prototypu położenia poszczególnych okuć względem części okuwanych wyznacza się indywidualnie, sposobem trasowania ręcznego. Produkcja seryjna opiera się wyłącznie na zastosowaniu przyrządów montażowych. Kolejność okuwania przewidziana jest szczegółowo w procesie technologicznym budowy szybowca. Zależy ona od rozwiązania konstrukcyjnego. Zasadą jest okuwanie poszczególnych części szybowca przed zestawami szkieletów. Wówczas bowiem jest wygodny dostęp do wiercenia, można zachować prostopadłość wiercenia, wreszcie nie niszczy się szkieletu przez uderzeniowe zabezpieczanie nakrętek lub rozwalcowywanie łbów nitów.

Przyrządy montażowe wykonuje się z drewna lub metalu. Chętnie używa się wyrobów walcowanych, jak płaskowniki, ceowniki i kątowniki. Elementy przyrządów łączy się za pomocą klejenia, spawania, kołków i śrub.

## 8.1. MONTAŻ CZĘŚCI SKRZYDŁA

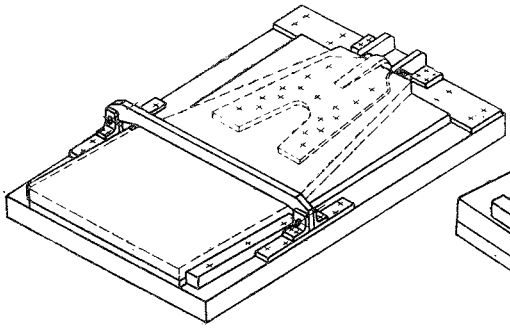
Głównymi zespołami w skrzydle są dźwigary. Na czołach dźwigarów umocowane są okucia nośne. Spotyka się oddzielne przyrządy do owiercania czół, jak na rysunkach 8-1, 8-2 i 8-3, lub przyrządy do owiercania całych dźwigarów, jak na rysunkach 8-4, 8-5, 8-6 i 8-7.

Zasada budowy przyrządu polega na pewnym umocowaniu dźwigara do płyty lub podstawy przyrządu oraz ustaleniu względem niego okuć. Do mocowania dźwigarów stosuje się ręczne ściski śrubowe, kliny lub obejmy. Okucia mocuje się trzpieniami do uchwytów.

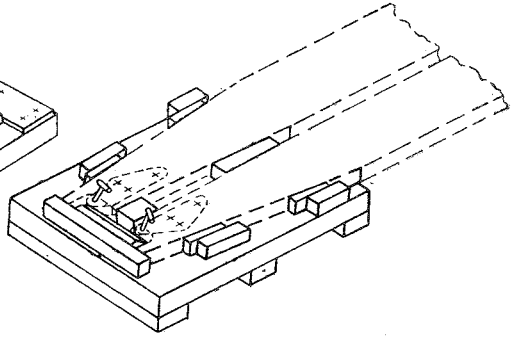
Otwory w drewnie wierci się przez otwory w okuciach lub tulejki wiertarskie. Niekiedy operacja wiercenia musi odbyć się na obrabiarce — wówczas należy wstępnie wyznaczyć środek wiercenia. Stosuje się przyrząd traserski, jak na rysunku 8-8.

Oprócz dźwigarów okuwa się wstępnie żebra i spływy, na których umieszczone są konsole dźwigni napędowych (rys. 8-9) lub zawiasy lotek (rys. 8-10 i 8-11). Jak widać na rysunkach, stosuje się zderzaki kołkowe lub klocki. Niektóre żebra owiercane są leżąco, inne stojąco.

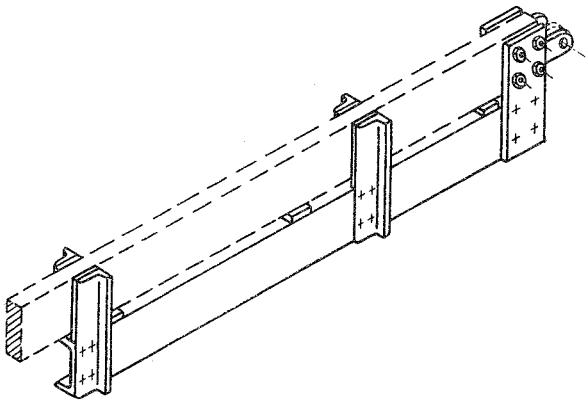
Inne zespoły skrzydła, jak popychacze, zastrzały, płyty hamulcowe owierca się na przyrządach (rys. 8-12, 8-13 i 8-14).



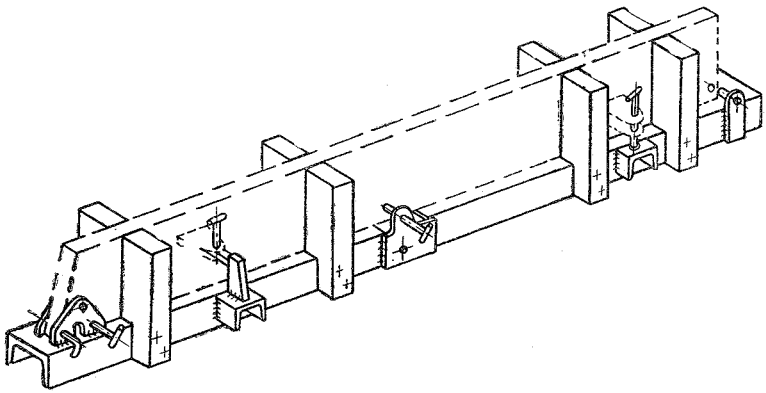
*Rys. 8-1. Przyrząd do owiercania czoła dźwigara wielopodłużnicowego*



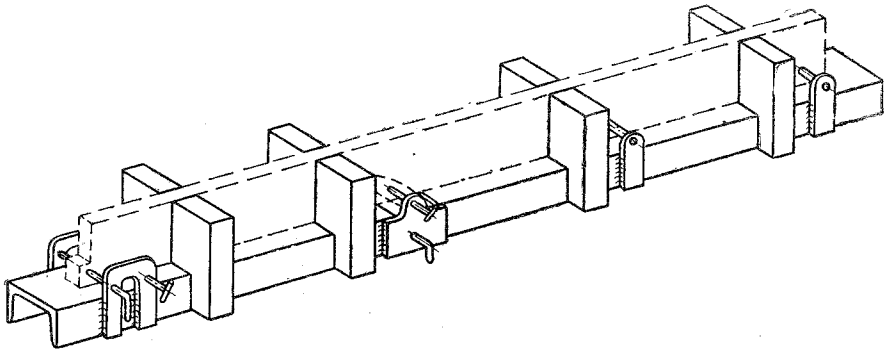
*Rys. 8-2. Przyrząd do owiercania czoła lewego i prawego dźwigara skośnego*



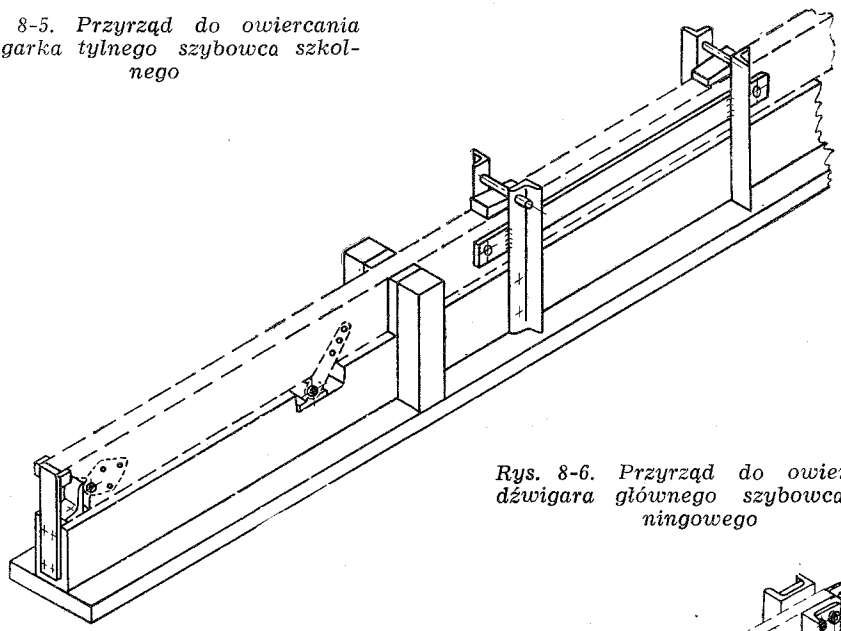
*Rys. 8-3. Przyrząd do owiercania czoła dźwigara przedniego*



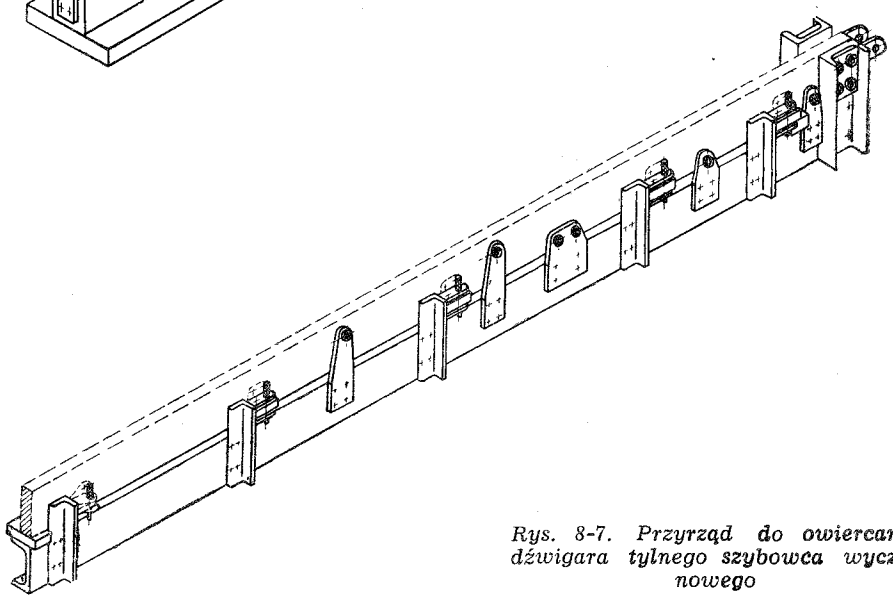
*Rys. 8-4. Przyrząd do owiercania dźwigara głównego szybowca szkolnego*



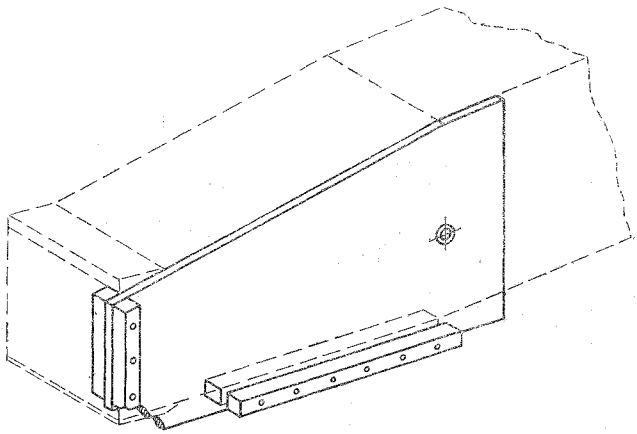
*Rys. 8-5. Przyrząd do owiercania dźwigarka tylnego szybowca szkolnego*



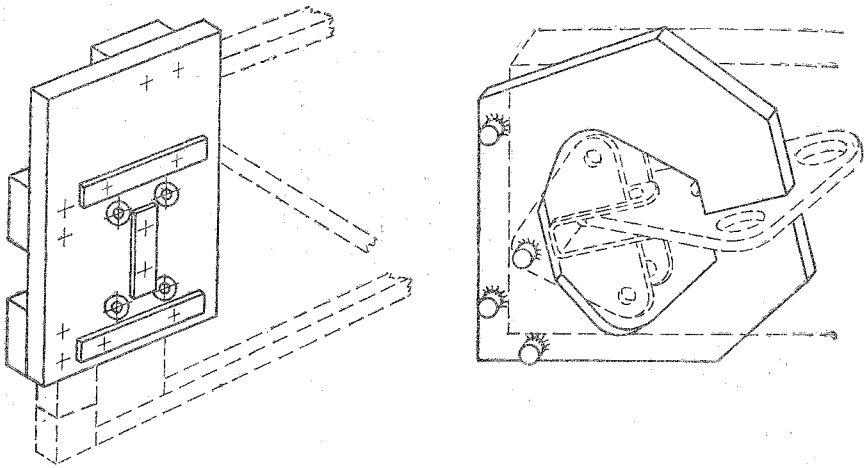
*Rys. 8-6. Przyrząd do owiercania dźwigara głównego szybowca treningowego*



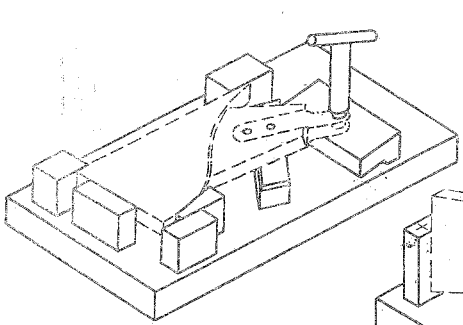
*Rys. 8-7. Przyrząd do owiercania dźwigara tylnego szybowca wyczynowego*



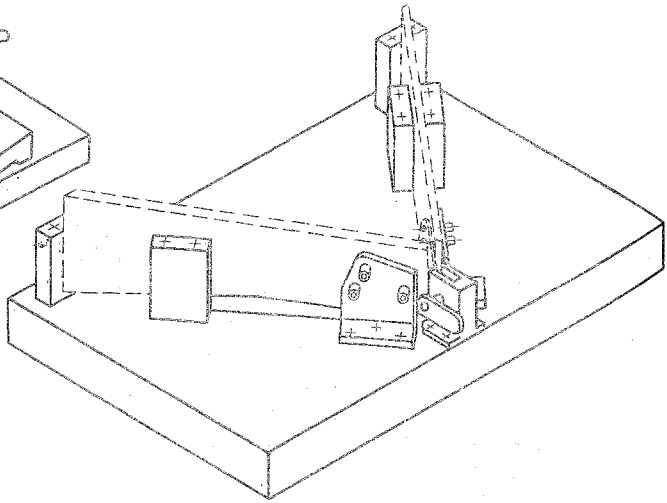
*Rys. 8-8. Przyrząd traserski do wyznaczenia otworu w czole dźwigara głównego*



*Rys. 8-9. Przyrządy do owiercania żebra*

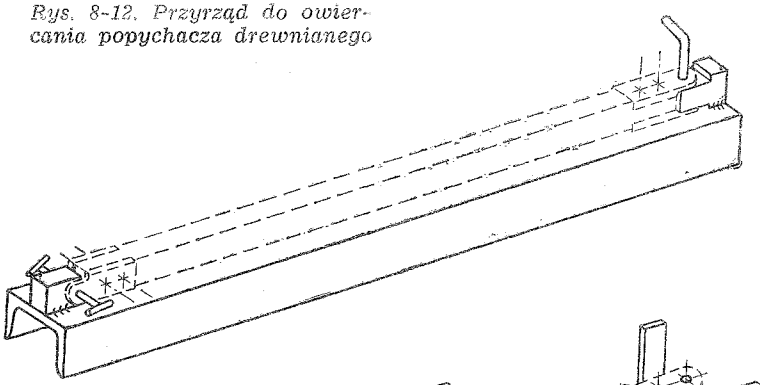


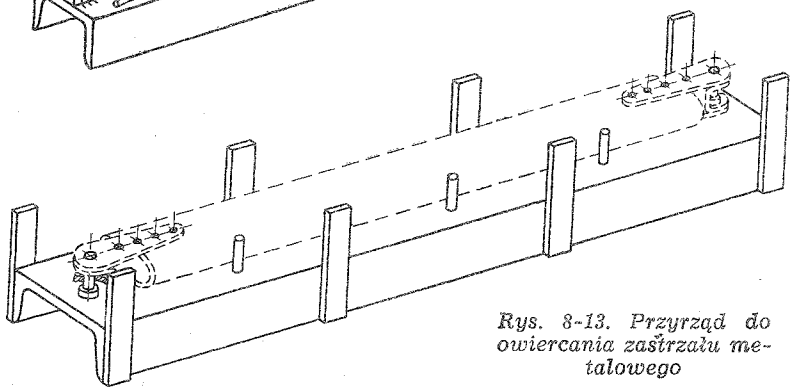
*Rys. 8-10. Przyrząd do owiercania żebra zawieszeniowego*



*Rys. 8-11. Przyrząd do owiercania lewego i prawego żebra zawieszeniowego*

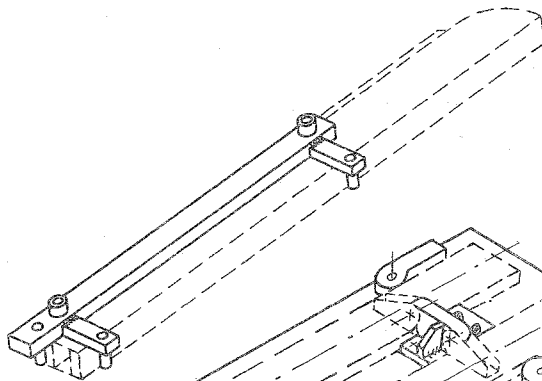
*Rys. 8-12. Przyrząd do owiercania popychacza drewnianego*

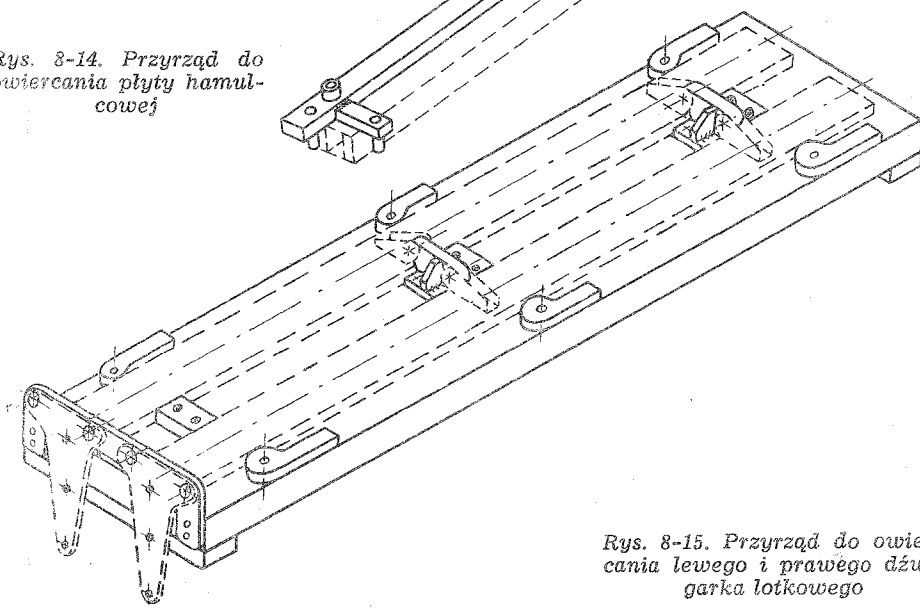




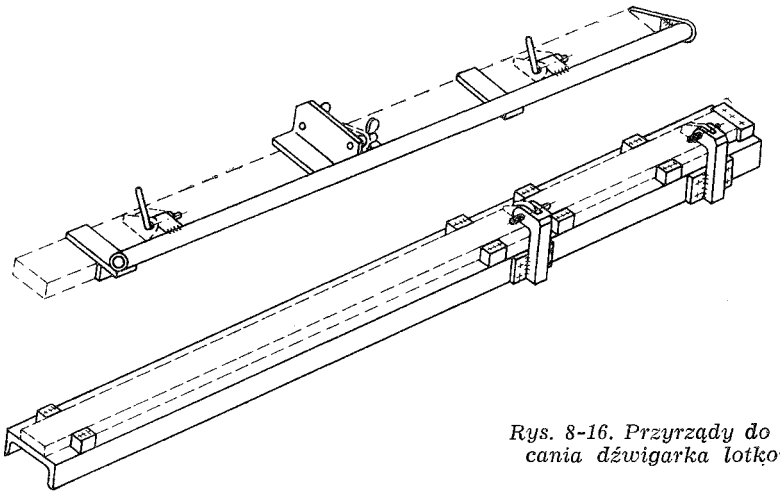
*Rys. 8-13. Przyrząd do owiercania zaślrzału metalowego*

*Rys. 8-14. Przyrząd do owiercania płyty hamulcowej*

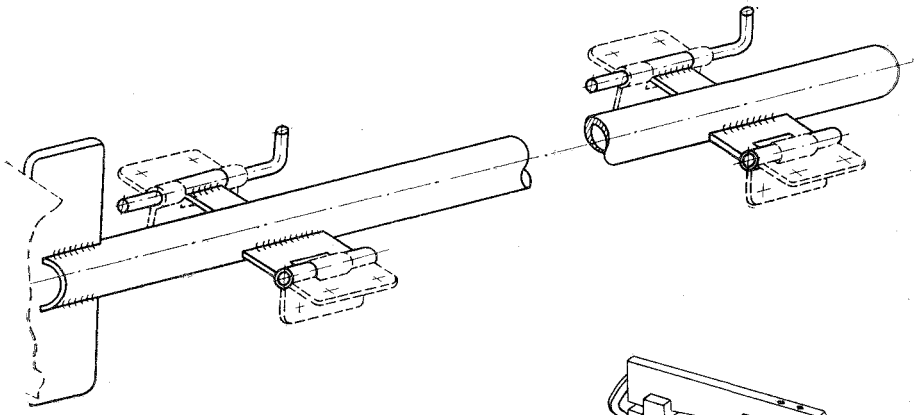




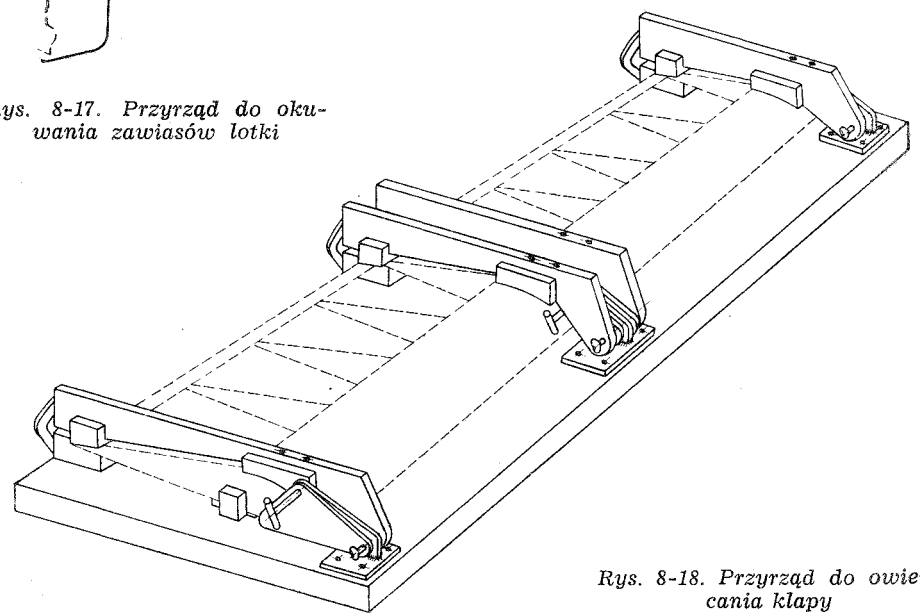
*Rys. 8-15. Przyrząd do owiercania lewego i prawego dźwigarka lotkowego*



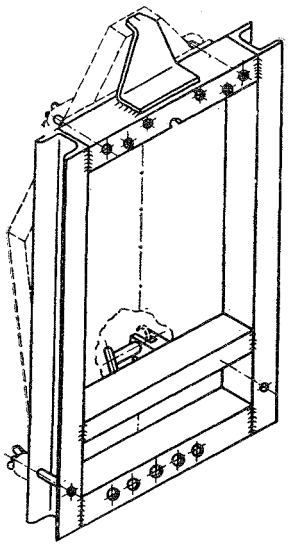
*Rys. 8-16. Przyrządy do owiercania dźwigarka lotkowego*



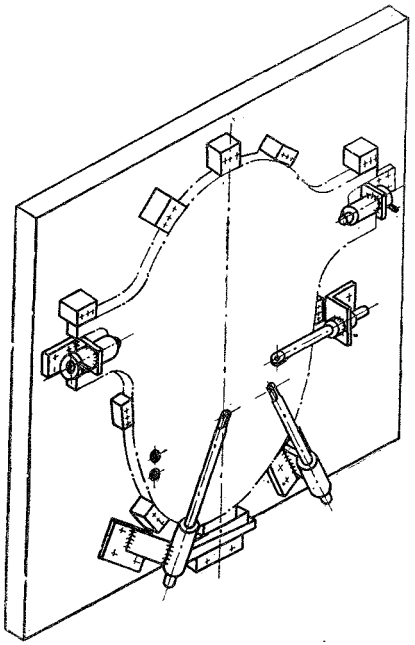
*Rys. 8-17. Przyrząd do okuwania zawiasów lotki*



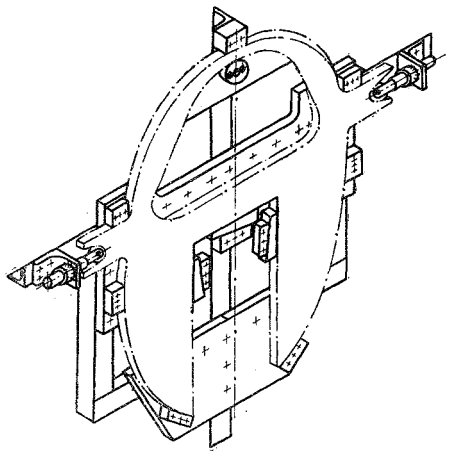
*Rys. 8-18. Przyrząd do owiercania klapy*



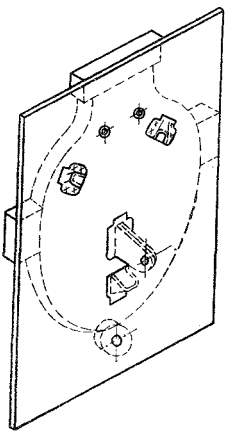
*Rys. 8-19. Przyrząd typu ramowego do owiercania wręgi nośnej*



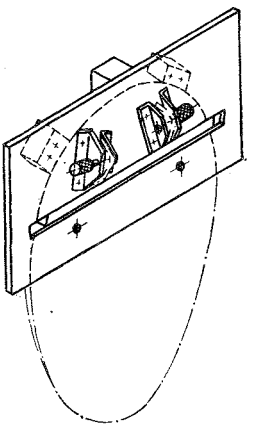
*Rys. 8-20. Przyrząd typu płytowego do owiercania wręgi nośnej*



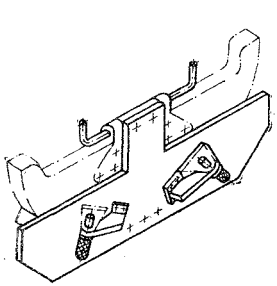
*Rys. 8-21. Przyrząd typu mieszanego do owiercania wręgi nośnej*

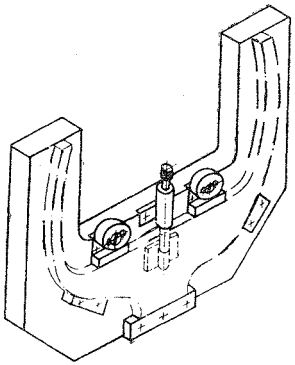


*Rys. 8-22. Przyrząd do owiercania wręgi przedniej*

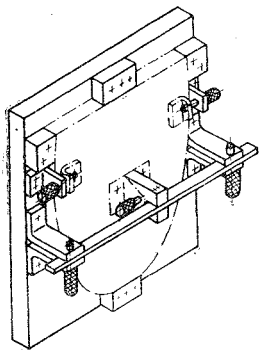


*Rys. 8-23. Przyrząd do owiercania wręgi tylnej*





*Rys. 8-24. Przyrządy do owiercania ścianki*



*Rys. 8-25. Przyrząd do owiercania ścianki*

W konstrukcjach lotek i klap skrzydłowych spotyka się podobną konstrukcję jak w skrzydle. Podobnie też wygląda oprzyrządowanie.

Proces technologiczny niektórych rozwiązań konstrukcyjnych przewiduje okuwanie gotowych zestawów. Na przykład zawiasy lotkowe szybowca szkolnego przykręca się po wykonaniu lotki, podobnie okucia klap przykręca się do wykonanego zestawu. Przyrządy do tych czynności podano na rysunkach 8-17 i 8-18.

## 8.2. MONTAŻ CZĘŚCI KADŁUBA

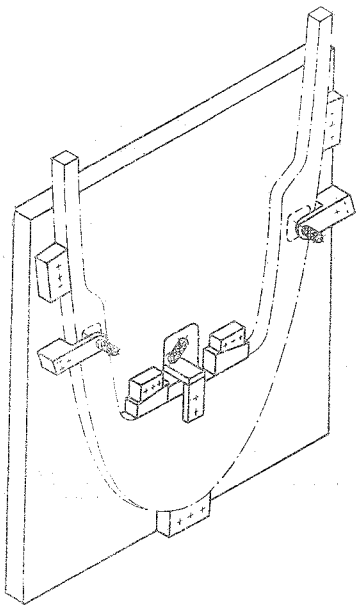
W kadłubie okuwa się okuciami nośnymi wręgi nośne oraz inne wręgi, na których zawieszone są konsole napędów i instalacji.

Stosuje się różne rozwiązania konstrukcyjne owiercania wręg. Przyrządy składają się z ramy lub płyty, do których mocuje się zderzaki w postaci klocków. Obejmują one obwód wręgi. W celu lepszego umiejscowienia wręgi umieszcza się dodatkowo na obwodzie mimośrody.

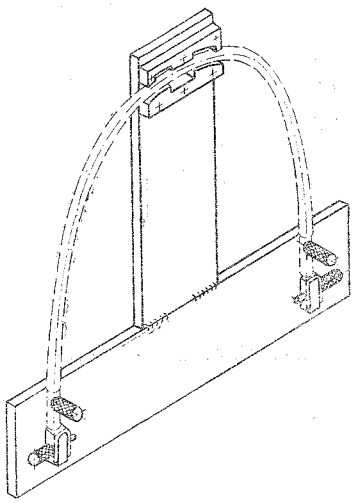
Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych przyrządów do owiercania wręg nośnych podano na rysunkach 8-19, 8-20 i 8-21.

Okucia ustala się względem wręgi za pomocą uchwytów i trzpieni.

Oprócz wręg nośnych owierca się na przyrządach dużo innych wręg. Zależnie od potrzeb, stosuje się całe płyty jako podstawy przyrządów lub fragmenty (rys. 8-22 do 8-26).



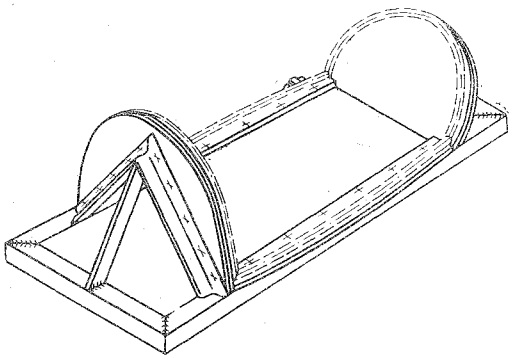
*Rys. 8-26. Przyrząd do owiercania kabłąka*



*Rys. 8-27. Przyrząd montażowy kabłąka metalowego*

W przypadku wręg metalowych stosuje się przyrządy umożliwiające wzajemne usytuowanie okucia. Przyrząd pokazany na rysunku 8-27 ma ustalacze okuć umieszczone na ramie metalowej. Okucia ustala się „pilotami".

Do montowania zawiasów ramy metalowej osłony pilota służy przyrząd pokazany na rysunku 8-28. Inne przyrządy montażowe części kadłuba pokazano na rysunkach 8-29 do 8-32.



*Rys. 8-28. Przyrząd do montowania ramy osłony pilota*

W szybowcu szkolnym kadłub składa się z kraty, do której przymocowana jest skrzynka przednia z siedzeniem i płozą. Skrzynka jest dzielona i łączona okuciami. Owiercanie obu części skrzynki ułatwia przyrząd pokazany na rysunku 8-33.

### 8.3. MONTAŻ CZĘŚCI USTERZENIA KIERUNKU

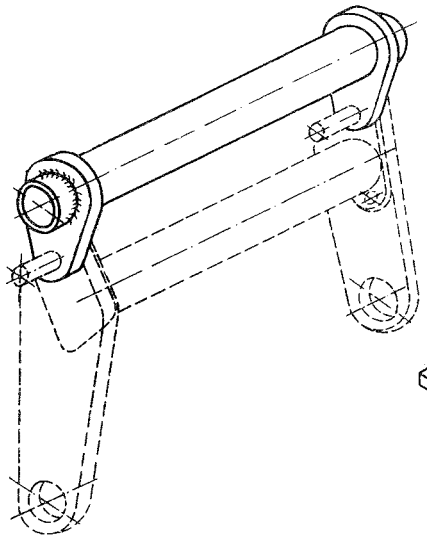
Ostatnie wręgi kadłubowe przechodzą zazwyczaj w dźwigarki statecznika kierunku. Należy na nich okuć konsole zawiasów sterów kierunkowych oraz okucia napędów (rys. 8-34, 8-35).

Niekiedy dźwigarki statecznika kierunku są dzielone i łączone okuciami metalowymi. Przyrządy do montażu tego typu dźwigarków podano na rysunkach 8-36, 8-37 i 8-38.

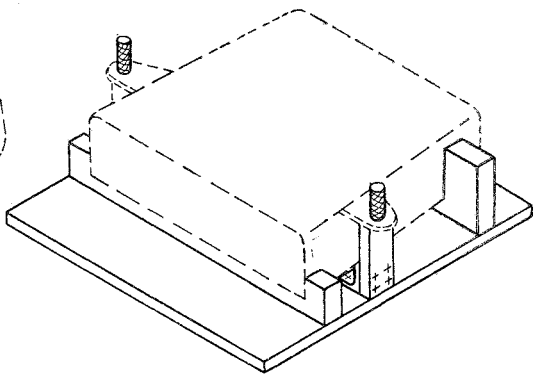
Ster kierunku ma zawiasy, na których obraca się względem statecznika kierunku, oraz dźwignię napędową. Części te należy okuć na dźwigarku steru. Przykłady przyrządów do owiercania dźwigarków z bazowaniem na osi dźwigarka oraz na jego obrysie podano na rysunkach 8-39, 8-40 i 8-41.

### 8.4. MONTAŻ CZĘŚCI USTERZENIA WYSOKOŚCI

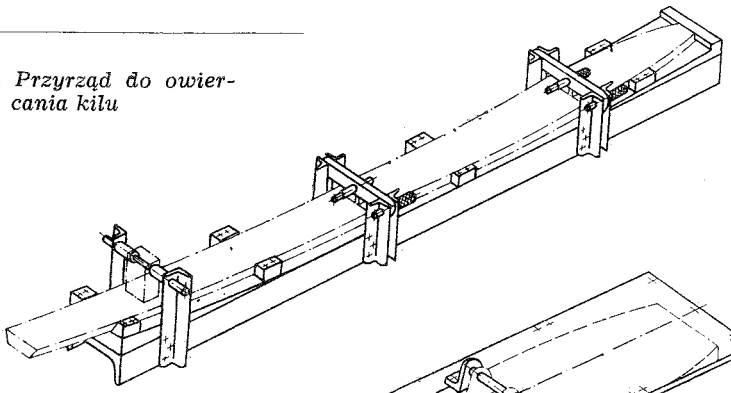
W stateczniku wysokości okuwa się zawiasy, na których obracają się stery, oraz okucia łączące statecznik z kadłubem. Na dźwigarku przednim statecznika umieszczone są tylko okucia (rys. 8-42). Na dźwigarku głównym oprócz okuć umieszczone są zawiasy steru (rys. 8-43 i 8-44). Niekiedy statecznik wysokości okuwa się w zestawie po pokryciu sklejką (rys. 8-45).



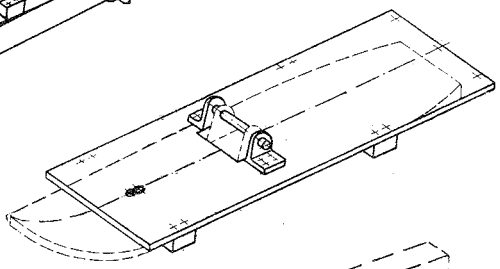
*Rys. 8-29. Przyrząd do nitowania dźwigni*



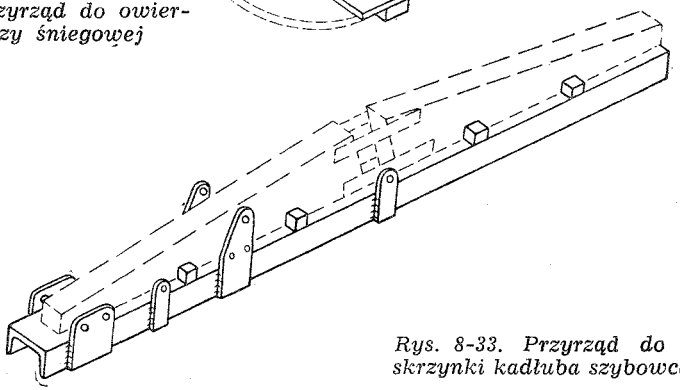
*Rys. 8-30. Przyrząd montażowy tablicy przyrządów pokładowych*



*Rys. 8-31. Przyrząd do owiercania kilu*

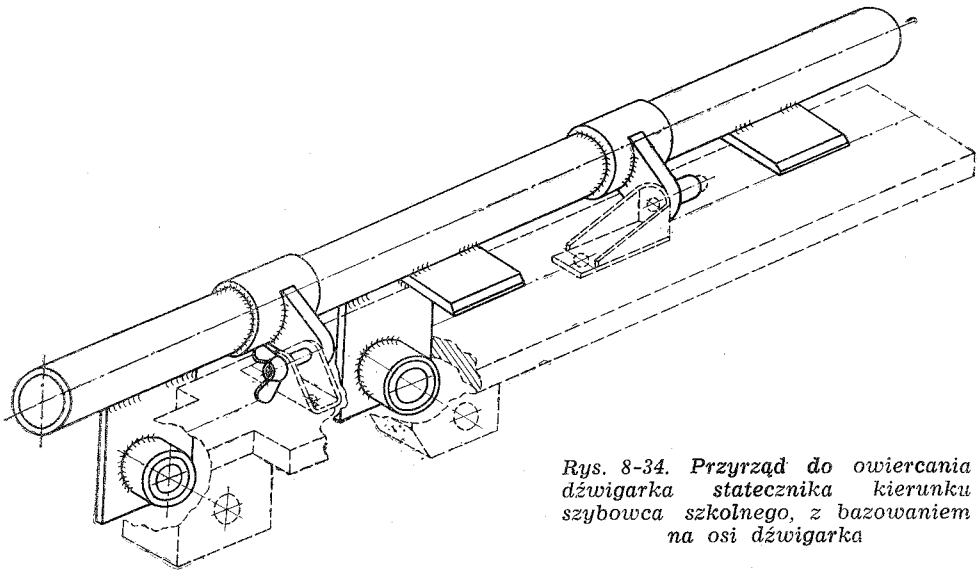


*Rys. 8-32. Przyrząd do owiercania płozy śniegowej*

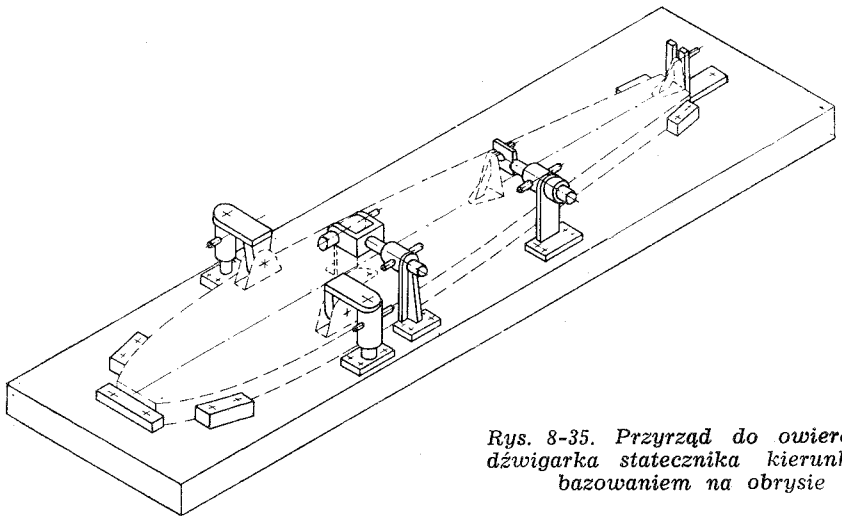


*Rys. 8-33. Przyrząd do owiercania skrzynki kadłuba szybowca szkolnego*

Ster wysokości ma zawiasy oraz dźwignię napędową (rys. 8-46, 8-47 i 8-48). W szybowcu szkolnym zawiasy sterów przykręcane są bezpośrednio do sterów (rys. 8-49).



*Rys. 8-34. Przyrząd do owiercania dźwigarka statecznika kierunku szybowca szkolnego, z bazowaniem na osi dźwigarka*

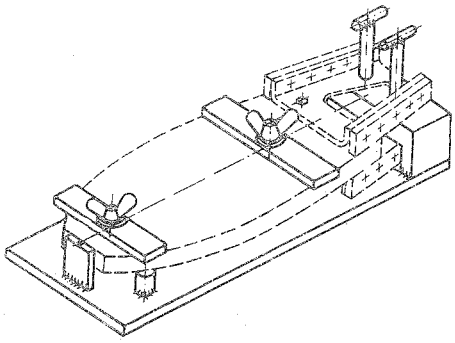


*Rys. 8-35. Przyrząd do owiercania dźwigarka statecznika kierunku z bazowaniem na obrysie*

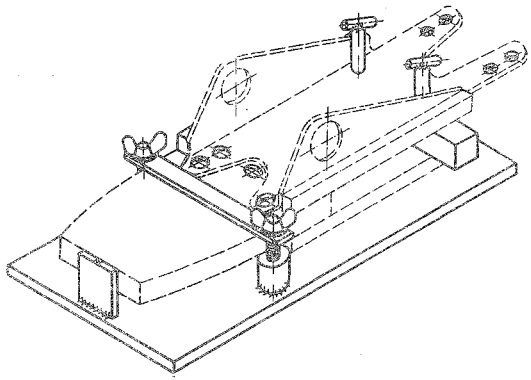
### 8.5. POŁĄCZENIA ŚRUBOWE

Najczęściej spotykanym typem połączeń okuć metalowych z drewnem jest połączenie śrubowe. W konstrukcjach szybowców spotyka się połączenia odpowiedzialne i połączenia mniej odpowiedzialne.

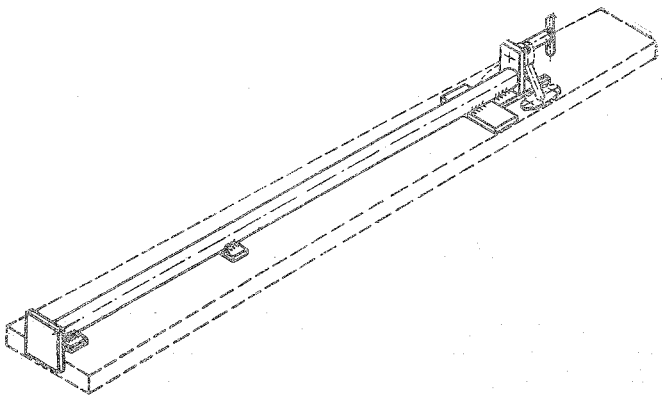
W połączeniach odpowiedzialnych otwory w drewnie i metalu muszą być rozwiercane jednocześnie przed założeniem śrub. W połączeniach



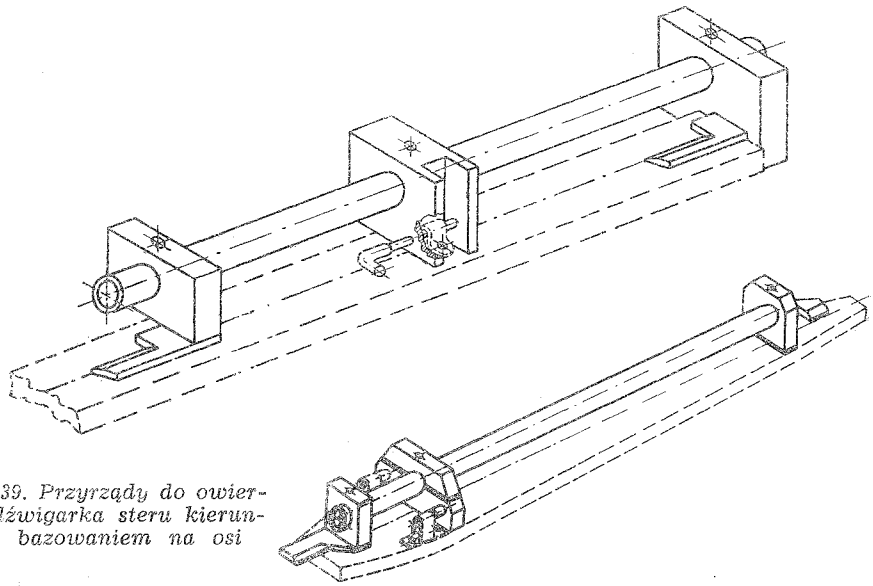
*Rys. 8-36. Przyrząd do owiercania części dolnej dźwigarka przedniego statecznika kierunku*



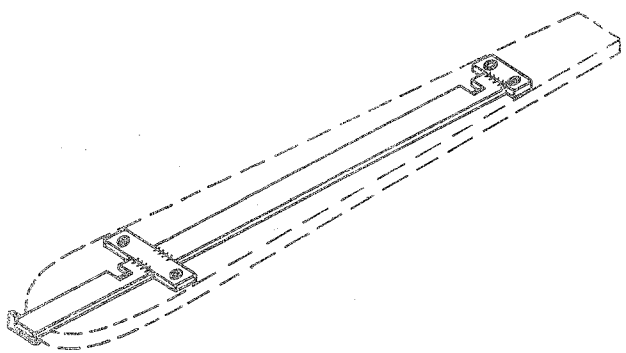
*Rys. 8-37. Przyrząd do owiercania części dolnej dźwigarka statecznika kierunku*



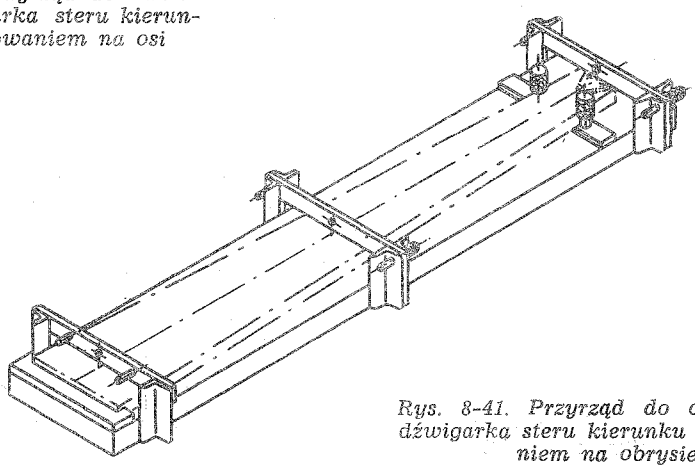
*Rys. 8-38. Przyrząd do owiercania części górnej dźwigarka statecznika kierunku*



*Rys. 8-39. Przyrządy do owiercania dźwigarka steru kierunku z bazowaniem na osi*

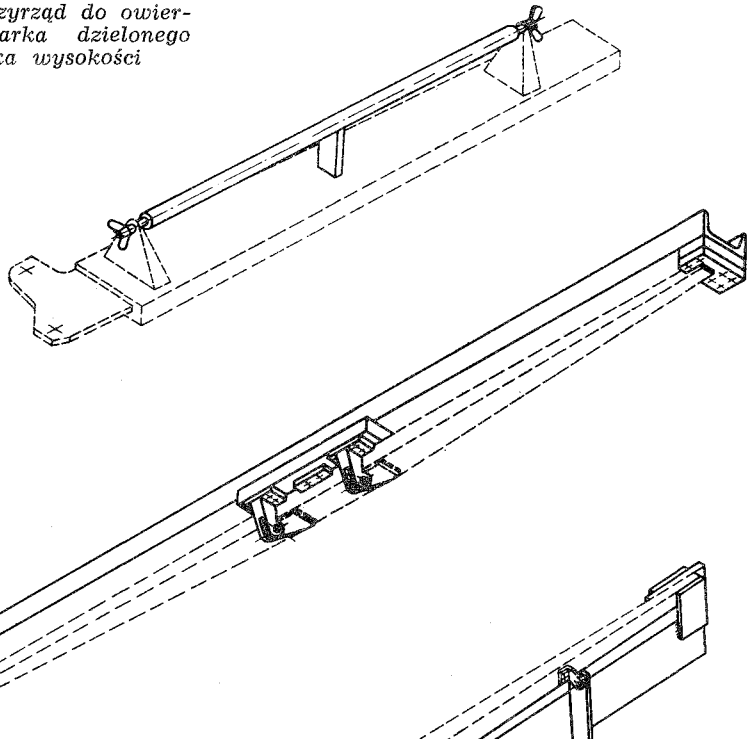


*Rys. 8-40. Przyrząd do owiercania dźwigarka steru kierunku z bazowaniem na osi*

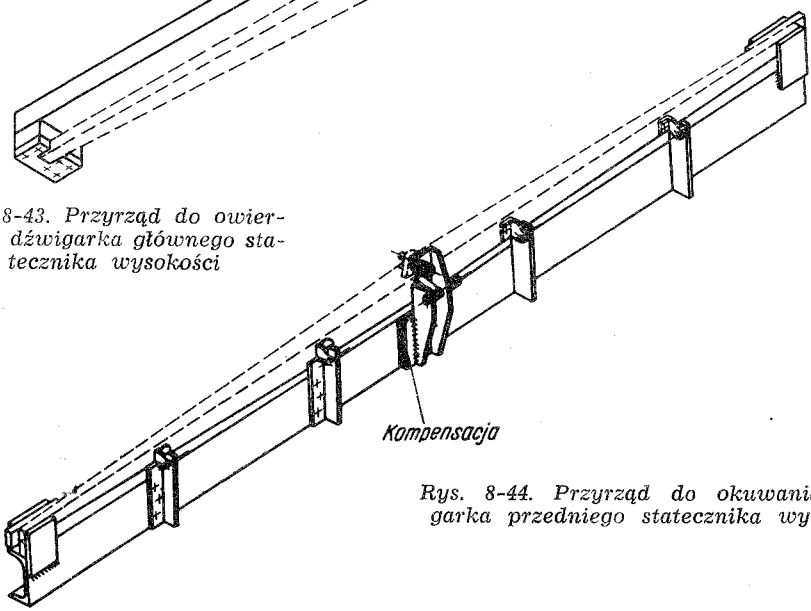


*Rys. 8-41. Przyrząd do owiercania dźwigarka steru kierunku z bazowaniem na obrysie*

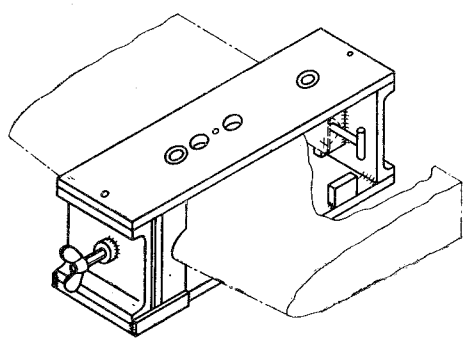
Rys. 8-42. Przyrząd do owiercania dźwigarka dzielonego statecznika wysokości



Rys. 8-43. Przyrząd do owiercania dźwigarka głównego statecznika wysokości

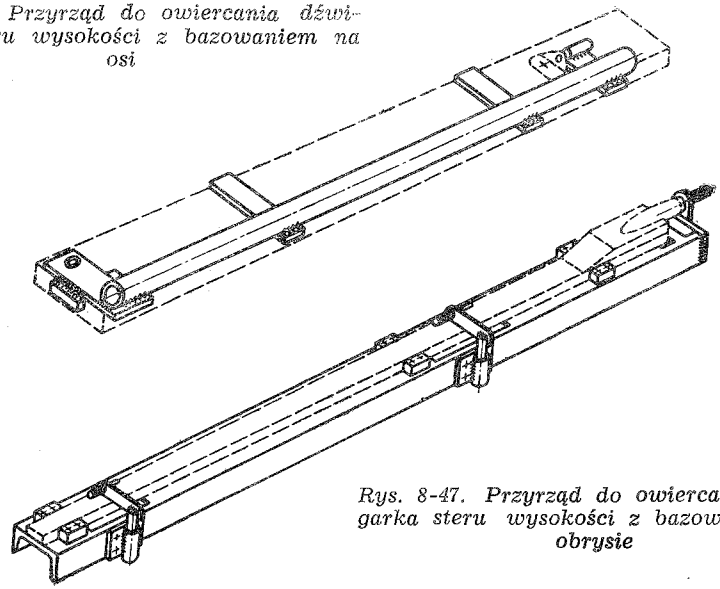



Rys. 8-44. Przyrząd do okuwania dźwigarka przedniego statecznika wysokości



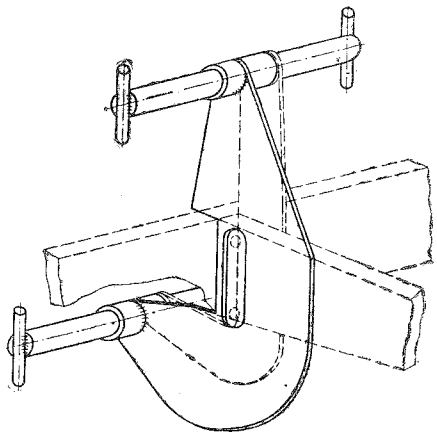
Rys. 8-45. Przyrząd do owiercania statecznika wysokości

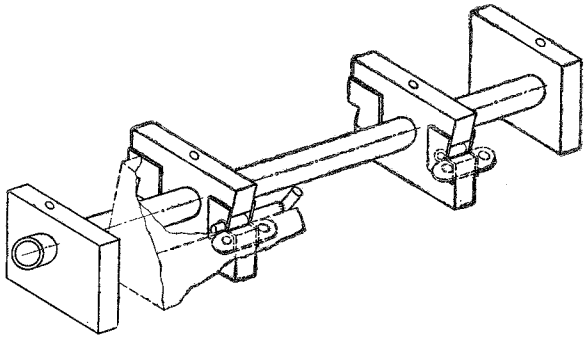
*Rys. 8-46. Przyrząd do owiercania dźwigarka steru wysokości z bazowaniem na osi*



*Rys. 8-47. Przyrząd do owiercania dźwigarka steru wysokości z bazowaniem na obrysie*

*Rys. 8-48. Przyrząd do owiercania żebra z dźwignią napędową steru wysokości szybowca szkolnego*

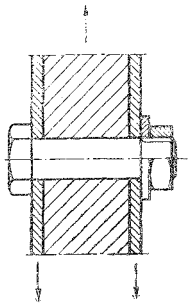




*Rys. 8-49. Przyrząd do okuwania zawiasów lewego i prawego steru wysokości szybowca szkolnego*

mniej odpowiedzialnych można oddzielnie wykonać otwór w drewnie i oddzielnie w metalu, a śrubę można założyć bez wspólnego rozwiercania.

Okucia metalowe wykonywane są z cienkich blach. Śruba łącząca okucie z drewnem przenosi siłę ścinającą. Ważny jest właściwy dobór długości części walcowej śruby. Część gwintowana śruby może zaczynać się dopiero za otworem okucia, gdyż śruba powinna leżeć całą swoją powierzchnią walcową na otworach w okuciu, ze względu na występujący docisk. Schemat właściwego połączenia podano na rysunku 8-50.



*Rys. 8-50. Połączenie śrubowe*

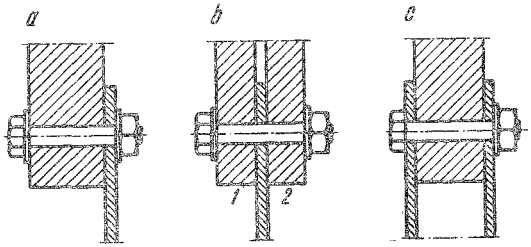
### 8.5.1. Wiercenie otworów

Wśród połączeń śrubowych można rozróżnić trzy typy pokazane na rysunku 8-51.

Kolejność wykonywania otworów w poszczególnych typach połączeń jest następująca.

Typ *a* (rys. 8-51*a*). W okuciu wykonuje się wstępny otwór technologiczny. Przez ten otwór wierci się otwór wstępny w drewnie, następnie wierci się otwór pod rozwiertak wspólnie przez metal i drewno, a następnie rozwierca całość w zestawie.

Typ *b* (rys. 8-51*b*). W okuciu wykonuje się wstępny otwór technologiczny. Okucie zestawia się z jedną częścią drewnianą, np. *1*, i przez otwór w metalu wierci się otwór wstępny w drewnie, a następnie drugi raz wiertłem pod rozwiertak. Potem dostawia się drugą część *2* i wierci w drewnie otwór pod rozwiertak, a następnie rozwierca całość w zestawie.




*Rys. 8-51. Typy połączeń drewno-metal*

Typ *c* (rys. 8-51*c*). W okuciu przygotowuje się otwory technologiczne w obu blachach. Przez otwór w okuciu wierci się otwór wstępny w drewnie, następnie wierci otwór pod rozwiertak wspólnie przez metal i drewno, a następnie rozwierca całość w zestawie.

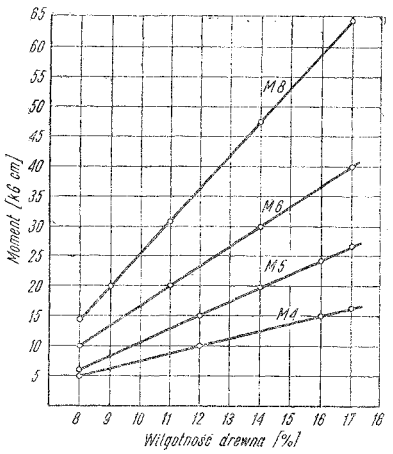
Przy owiercaniu drewna wspólnie z metalem należy zwrócić specjalną uwagę na kierunek wiercenia. Zawsze metal powinien być na górze, a pod nim drewno. Chodzi o to, aby wióry wydostające się spod wiertła nie wychodziły w czasie wiercenia przez drewno, gdyż następuje kaleczenie ścianek otworu. Jeśli rozwiązanie konstrukcyjne nie pozwala na zachowanie tej zasady, należy stosować stopniowanie średnic wierteł, aby przez otwór w drewnie wydostawał się jak najdrobniejszy wiór.

W celu konserwacji drewna otwory pod śruby oraz powierzchnie czołowe połączenia powleka się przed montażem wyrobem lakierniczym, najlepiej podkładem syntetycznym żółtym AŁG-1 o symbolu 25/21/124.

### 8.5.2. Dociąganie nakrętek

W połączeniach odpowiedzialnych drewno-metal istotne jest właściwe dokręcenie śruby nakrętką. Przy za słabym dokręceniu powstaje luz osiowy w ścisku, przy za mocnym dokręceniu natomiast niszczy się zewnętrzne powierzchnie drewna, a przez to znacznie obniża wytrzymałość połączenia. Zagadnienie komplikuje się ze względu na zmiany wymiarowe drewna zależne od jego wilgotności. Jeżeli dociągnie się mocno śrubę w suchym drewnie, to spęcznienie drewna wskutek wilgotności spowoduje wgniecenie łba śruby lub nakrętki.

Ponieważ drewno sosnowe jest mało wytrzymałe w kierunku prostopadłym do słojów, wszystkie konstrukcje przewidują oklejanie powierzchni bocznych nakładkami sklejkowymi, a poza tym podkładanie podkładek metalowych pod łby śrub i nakrętek. W ten sposób rozprowadza się docisk śruby skręconej.




*Rys. 8-52. Zależność przyłożonego momentu do nakrętki od wilgotności drewna*

Wykres na rysunku 8-52 orientuje, jaki moment należy przyłożyć do nakrętki, najlepiej kluczem dynamometrycznym, przy danej wilgotności drewna.

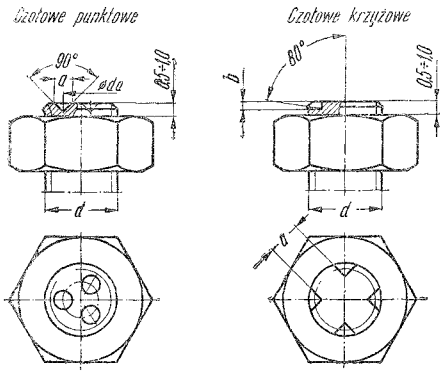
### 8.5.3. Zabezpieczanie nakrętek

Do montażu śrub używa się dwu rodzajów nakrętek, zwykłe i koronowe. Rodzaj zabezpieczania nakrętki zwykłej zależy od materiału skręcanego. Przy materiałach podlegających odkształceniom w czasie eksploatacji, jak np. drewno, stosuje się zabezpieczenie pozwalające na stopniowe dokręcanie nakrętek podczas napraw (rys. 8-53). Jest to zabezpieczenie punktowaniem czoła śruby.

Do zabezpieczenia używa się punktaków ślusarskich lub specjalnych krzyżowych. Śruba powinna być z przeciwnej strony podtrzymana podporą. Zabezpieczenie krzyżowe ma zastosowanie przy materiałach bardziej plastycznych, jak np. stopy lekkie, natomiast przy stali stosuje się typ punktowania za pomocą punktaka ślusarskiego.

Po powtórnym dokręceniu nakrętki czoło śruby należy spiłować i powtórzyć punktowanie. Podczas punktowania nie narusza się nakrętki.

Jeżeli nie ma dostępu do punktowania czołowego w montażu lub śruba ma otwór ulżeniowy, należy stosować system punktowania bocznego, pokazany na rysunku 8-54. Jest to typ połączenia jednorazowego i nie nadaje się do regeneracji.



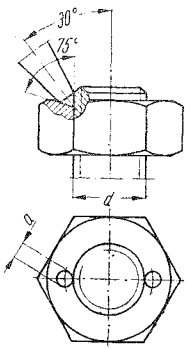

mm

| $d$ | $d_a$ | Liczba punktów | $a$ |
|---|---|---|---|
| do M5 | $d$-2 | 2 | 1,0 |
| M6-M10 | $d$-3 | 3 | 1,5 |
| od M12 | $d$-3 | 4 | 2,0 |
| Min. masa młotka 0,3 kg | | | |
| Min. masa podpory 3 kg | | | |

mm

| $d$ | $a$ | $b$ |
|---|---|---|
| M4 | 1,5 | 0,6 |
| M5 | 2,0 | |
| M6 | 2,5 | |
| M8 | 3,0 | 0,8 |
| M10 | 4,0 | |
| M12 | 5,0 | |
| Min. masa młotka 0,5 kg | | |
| Min. masa podpory 8 kg | | |

*Rys. 8-53. Czołowe zabezpieczenie nakrętki punktowaniem*

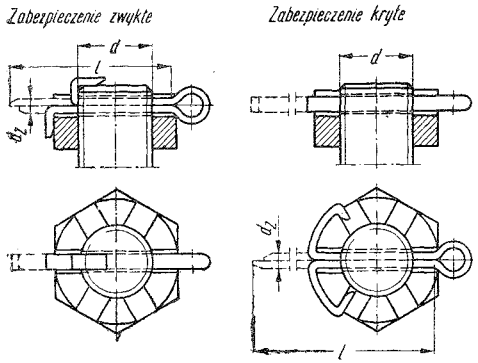



mm

| $d$ | Liczba punktów | $a$ |
|---|---|---|
| do M6 | 2 | 1,0 |
| M8 — M12 | 3 | 1,5 |
| Od M12 | 4 | 2,0 |

*Rys. 8-54. Boczne zabezpieczenie nakrętki punktowaniem*

Do zabezpieczenia nakrętek koronowych używa się zawleczek. Dwa rodzaje zabezpieczeń podano na rysunku 8-55. Zabezpieczenie zwykłe jest prostsze w montażu. Polega na rozwinięciu zawleczki po przełożeniu




mm

| $d$ | $l$ | $d_z$ |
|---|---|---|
| M4 | 10 | 0,8 |
| M5 | 12 | 1,0 |
| M6 | 12 | 1,2 |
| M8 | 16 | 1,6 |
| M10 | 18 | 2,0 |
| M12 | 20 | 2,7 |

mm

| $d$ | $l$ | $d_z$ |
|---|---|---|
| M4 | 12 | 0,8 |
| M5 | 16 | 1,0 |
| M6 | 16 | 1,2 |
| M8 | 20 | 1,6 |
| M10 | 22 | 2,0 |
| M12 | 25 | 2,7 |

*Rys. 8-55. Zabezpieczenie nakrętki koronowej zawleczką*

przez otwór śruby. Jeden koniec układa się na nakrętce, drugi zaś na czole śruby. Sposób opisany nie nadaje się jednak do zabezpieczania śrub, które znajdują się w pobliżu ruchomych części napędów i instalacji. Może bowiem zdarzyć się zahaczenie o zawleczkę. Również nie nadaje się do stosowania w miejscach obsługiwanych ręką w czasie eksploatacji, ze względu na możliwość skaleczenia się. Drugi rodzaj, tzw. kryty, jest trudniejszy do wykonania, ale pewniejszy. W obu rodzajach zabezpieczeń nakrętek koronowych zawleczki traktuje się jako części jednorazowego użytku.

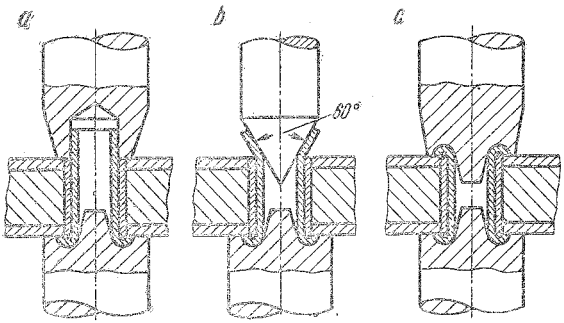
## 8.6. POŁĄCZENIA NITOWE

### 8.6.1. Połączenia nitami rurowymi

Ze względu na konieczność zmniejszenia ciężaru konstrukcji stosuje się połączenia nitami rurowymi. Nity rurowe wykonywane są z miękkiej i plastycznej stali gatunku 10. Dostarczane są przez wytwórcę lub produkowane we własnym zakresie. Nitami rurowymi łączy się najczęściej okucia metalowe z drewnem. Połączenia odpowiedzialne mają pasowane tuleje przenoszące siły ścinające, wewnątrz których ustawione są nity rurowe.

Nity wykonuje się z rur. Po przecięciu krawędź rury powinna być lekko złamana, bez pęknięć i zgnieceń. Koniec rury potrzebny do wykonania łba powinien mieć długość równą 0,6 średnicy zewnętrznej.

Najczęściej nity rurowe zakuwa się sposobem ręcznym lub na prasie śrubowej. Nity o większych średnicach (średnica wewnętrzna powyżej 8 mm) można zakuwać za pomocą śruby, która ma łeb i nakrętkę z podtoczeniami odpowiadającymi kształtem nitowi rurowemu (rys. 8-56).




*Rys. 8-56. Sposób zakuwania nitu rurowego*

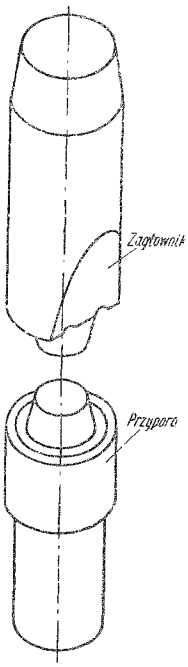
Części nitowane należy dobrze „dociągnąć" za pomocą dociskacza *a*, następnie rozwinąć koniec specjalnym sworzniem *b* o zaostrzeniu równym 60° i stopniowo dobijać rozwinięty koniec specjalnym zagłownikiem *c*.

Znane są dwa sposoby formowania łba nitu. Jeden sposób polega na dobijaniu ukośnie stawianego zagłownika, przy czym zagłownik zmienia coraz to położenie, drugi wymaga zagłownika ściętego, jak na rysunku

8-57. Ścięty zagłownik przekręca się o pewien kąt po każdym uderzeniu.

Zagłowiony nit rurowy nie może mieć pęknięć, głowa powinna być równo dociągnięta do blachy okucia, na blasze nie może pozostać rysa od uderzenia zagłownikiem.

Przygotowanie otworu w połączeniu metal-drewno powinno być takie samo jak w połączeniu śrubowym opisanym w podrozdziale 8.5.1.




*Rys. 8-57. Przyrządy do zagławiania nitu rurowego*

### 8.6.2. Połączenia nitami pełnymi

W połączeniach nitowanych mają zastosowanie nity ze stopów lekkich i stali. Nity wykonywane są z drutu. Stosowane są gatunki: PA2, PA25 i 15.

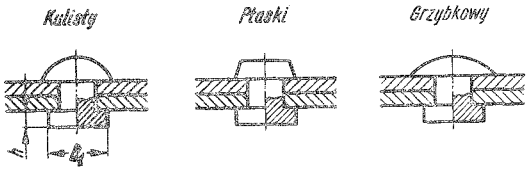
Nity o gatunku PA2 podlegają wyżarzaniu w temperaturze 350÷400°C i nadają się do zakuwania bez ograniczenia czasu. Nity z PA25 przesyca się w temeperaturze 515±5°C i poddaje starzeniu naturalnie lub sztucznie w temperaturze 55±5°C; nadają się one do zakuwania bez ograniczenia czasu po 3 dobach po starzeniu sztucznym lub po 10 dobach po starzeniu naturalnym.

Nity o gatunku 15 odpuszcza się w temperaturze 650°C.

Jako pokrycia przeciwkorozyjne stosuje się anodowanie dla stopów lekkich i cynkowanie dla stali.

Nity nie mogą mieć pęknięć i rozwarstwień. Otwory pod nity powinny mieć średnicę większą o 0,1 mm od średnicy nitu. Otwór powinno się wiercić od strony materiału twardszego lub grubszego podtrzymując jednocześnie drugi materiał przyciskami.

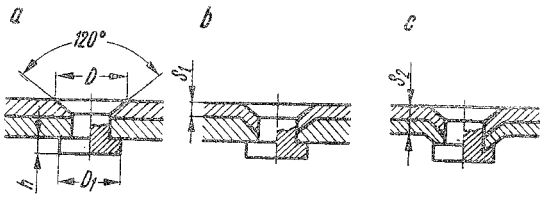
Rozróżnia się nitowanie normalne, tzn. nitami z łbami wystającymi ponad powierzchnię blachy (rys. 8-58) i nitowanie gładkie, w którym łby nitów pokrywają się z powierzchnią blachy (rys. 8-59).




*Rys. 8-58. Rodzaje nitowania normalnego*

mm

| Średnica nominalna nitu | 2,6 | 3 | 3,5 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Najmniejsza wysokość zakuwki $h$ | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 2,0 |
| Średnica zakuwki $D_1$ | 3,9 | 4,5 | 5,25 | 6,0 | 7,5 |
| Długość nitu na zakuwkę | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |




*Rys. 8-59. Rodzaje nitowania gładkiego w zależności od grubości blach*

mm

| Średnica nominalna nitu | 2,6 | 3 | 3,5 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Średnica otworu wstępnego | 2,1 | 2,7 | 3,1 | 3,6 | 4,1 |
| Średnica otworu pod nit | 2,7 | 3,1 | 3,6 | 4,1 | 5,2 |
| Średnica nawiercenia $D$ | 5,7 | 6,5 | 7,3 | 8,2 | 9,9 |
| Największa grubość blachy $s_1$ | 0,9 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,4 |
| Największa grubość blachy $s_2$ | 1,8 | 2,2 | 2,6 | 2,8 | 3,2 |
| Największa wysokość zakuwki $h$ | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 2,0 |
| Średnica zakuwki $D_1$ | 3,9 | 4,5 | 5,25 | 6,0 | 7,5 |
| Długość nitu na zakuwkę | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 |

Nitowanie gładkie przeprowadza się nitami wpuszczanymi. Pod nity wpuszczane wykonuje się gniazda pogłębiane lub wytłaczane (wygłębiane), zależnie od grubości łączonych blach. Przy gniazdach wytłaczanych wierci się najpierw otwory o średnicy wstępnej. Gniazda wytłacza się stemplem i matrycą.

Przy nitowaniu większych arkuszy blach stosuje się przychwycanie sprężynowymi sczepiaczami lub zwykłymi śrubami w odstępach równych 150÷300 mm. Nitowany arkusz blachy należy bardzo umiejętnie ułożyć, przewiercić i przechwycić, w przeciwnym przypadku powstaną zafalowania i wypukłości. Należy stosować metodę „od brzegu" lub „od środka".

Nity zakuwa się na prasie lub za pomocą młotka pneumatycznego, przy użyciu płaskich zagłowników, jednym z dwóch sposobów: prostym lub odwróconym.

W sposobie prostym młotek uderza w koniec nitu, a łeb dociska się przyporą. Na końcu nitu powstaje zakuwka. W sposobie odwróconym młotek uderza w łeb nitu, a koniec dociskany jest przyporą. Na końcu nitu powstaje zakuwka.

W połączeniach nitowanych można spotkać wiele niedokładności. Błędy dotyczą zarówno samych nitów, otworów pod nity, ułożenia łba nitu w gnieździe, zakuwki, jak i sposobu łączenia blach.

Typowymi błędami nitów są: niewłaściwa plastyczność, za mały wymiar, nieodpowiedni kąt łba i długość. Typowymi błędami otworów pod nity są: brak prostopadłości i za duża średnica. Typowymi błędami ułożenia łba nitu w gnieździe są: za głębokie lub za płytkie gniazdo i brak prostopadłości gniazda.

Typowymi błędami zakuwki są: ukośna powierzchnia zakucia, przesunięta zakuwka z powodu za długiego nitu, za mała wysokość z powodu za krótkiego nitu, popękana zakuwka z powodu nadmiernego rozklepywania i za duża wysokość z powodu niedoklepania.

Typowymi błędami łączenia blach są: podcięcia zagłownikiem, spęcze-

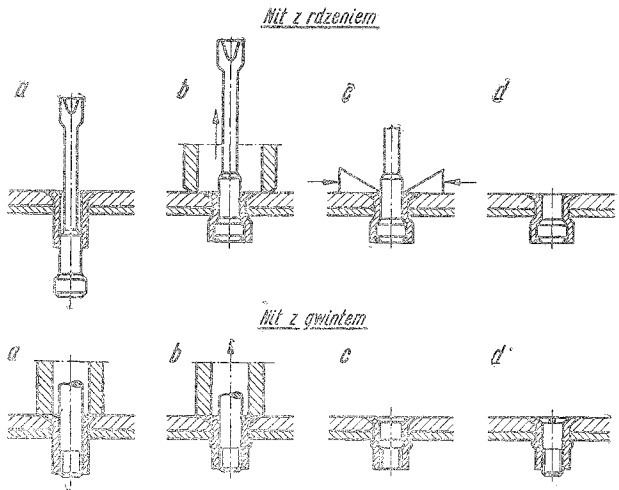
nie nitu pomiędzy blachami spowodowane złym dociśnięciem blach, wciśnięcie blach dookoła nitu spowodowane złym doborem narzędzia i zafalowania przez stosowanie niewłaściwej kolejności nitowania lub niewłaściwe dopasowanie blach.

### 8.6.3. Nitowanie jednostronne

Nity do nitowania jednostronnego stosuje się wówczas, gdy w konstrukcji utrudniony jest dostęp do nitowania obustronnego. Najczęściej spotyka się nity z rdzeniem (nawlekane) oraz nity z gwintem. Nity mogą mieć różne kształty łbów, podobnie jak nity pełne. Są to nity duralowe.

Nity jednostronne znajdują duże zastosowanie przy naprawach sprzętu. Należy zwrócić uwagę, że wszelkiego typu nity do jednostronnego nitowania są kosztowne ze względu na skomplikowane wykonanie.

Sposób zakuwania obu typów nitów podano na rysunku 8-60. Otwór w blachach łączonych należy wykonać o 0,1 mm większy od średnicy nita. Zakuwanie wymaga specjalnych przyrządów.




*Rys. 8-60. Schemat zakuwania nitu z rdzeniem i z gwintem*

Nitowanie nitem z rdzeniem przeprowadza się kleszczami dźwigniowymi. Nit produkowany jest wraz z rdzeniem. Do przygotowanego otworu w blachach wkłada się nit razem z przewleczonym od spodu rdzeniem. Rdzeń uchwycony jest w szczękach kleszczy. Po właściwym ułożeniu nitu zwiera się rękojeści kleszczy, przez co rdzeń wciąga się do środka nitu, aż do oporu. Dalsze wciąganie rdzenia powoduje jego urwanie się. Następnie wystający koniec rdzenia obcina się nożycami i opiłowuje. Nit pozostaje zaślepiony końcem rdzenia.

Nitowanie nitem z gwintem przeprowadza się innymi kleszczami dźwigowymi. Nit nakręca się na wystający trzpień gwintowany kleszczy i wkłada się do przygotowanego otworu. Po ułożeniu nitu w otworze zwiera się rękojeści kleszczy. Trzpień wciąga część gwintowaną nitu aż do oporu. Wówczas wykręca się trzpień z nitu. W celu zaślepienia otworu, do nitu wkręca się wkręt.

Kleje używane do klejenia metalu można podzielić na kleje utwardzane „na zimno" i utwardzane „na gorąco" (temperatura powyżej 100°C). Niezależnie od tego dzielą się one na utwardzane bez udziału ciśnienia i z udziałem ciśnienia.

Ze względu na użytą żywicę syntetyczną w klejach, dzielą się one na termoutwardzalne, termoplastyczne i elastromerowe.

Kleje termoutwardzalne są nierozpuszczalne i mają najwyższe własności wytrzymałościowe. Są to kleje na podstawie żywic fenolowych (np. angielski Redux), kleje epoksydowe (np. szwajcarski Araldit), poliuretanowe (np. niemiecki Desmodur i Desmocoll) oraz polisiloksanowe.

Kleje termoplastyczne przechodzą z powrotem w stan płynny pod wpływem temperatury lub rozpuszczalników; mają mniejszą wytrzymałość. Należą do nich kleje poliwinylowe i poliakrylowe. Mają one zastosowanie przy klejeniu metalu z innymi tworzywami.

Kleje elastomerowe oparte są na kauczuku naturalnym lub sztucznym (np. neoprenie). Są bardzo elastyczne, ale mają małą wytrzymałość. Stosuje się je do klejenia metalu z tworzywami niemetalicznymi.

Głównymi substancjami w produkcji klejów do metali są żywice syntetyczne i elastomery. Od nich pochodzą nazwy poszczególnych typów klejów. Oprócz żywic i elastomerów stosuje się substancje pomocnicze, jak utwardzacze, wypełniacze i rozpuszczalniki.

Klejowe łączenie metali ma wiele zalet w porównaniu do pozostałych metod łączenia. W porównaniu z nitowaniem nie wymaga wykonywania otworów osłabiających konstrukcję, daje równomierny rozkład naprężeń, zmniejsza ciężar i zapewnia gładkość połączenia. W porównaniu ze spawaniem nie wprowadza zmian struktury spowodowanych stosowaniem wysokich temperatur, pozwala na łączenie różnych gatunków metali.

Zasadniczą wadą klejenia metali jest słaba odporność na działanie temperatury i wrażliwość na oddzielanie. Kleje muszą spełniać też wiele wymagań specjalnych: nie mogą powodować korozji metali, podczas utwardzania nie mogą wydobywać się produkty gazowe, gdyż nie mają one ujścia, współczynnik rozszerzalności cieplnej musi być podobny do współczynnika rozszerzalności metalu.

Przy klejeniu metali główną rolę odgrywa przyczepność właściwa, czyli polarna. Wiąże się to ściśle ze zwilżalnością klejowej powierzchni przez klej. Stosowane kleje muszą wykazywać dużą odporność na działanie atmosferyczne i w czasie wiązania nie zmieniać objętości, co wywoływałoby dodatkowe naprężenia wewnętrzne.

W dotychczasowych konstrukcjach szybowcowych znajdują zastosowanie następujące kleje do łączenia metalu:

a) klej epoksydowy na bazie żywicy „Epidian 5",
b) klej fenolowy zmodyfikowany BWF-21,
c) klej kauczukowy „Butapren".

### 8.7.1. Klej epoksydowy na bazie żywicy „Epidian 5"

Jest to kompozycja żywicy „Epidian 5" utwardzanej na zimno utwardzaczem Z-1. Żywica Epidian 5 jest małocząsteczkową żywicą epoksydową nie zawierającą rozcieńczalników, otrzymywaną przez kondensację dianu z epichlorohydryną w środowisku alkalicznym. Żywicę należy prze-

chowywać w temperaturze około 20°C w pomieszczeniach suchych i przewiewnych przez okres 1 roku od wyprodukowania. Jest łatwopalna.

Utwardzacz Z-1 lub trójetylenoczteroamina (skrót TECZA) jest ciekłą wysokowrzącą aminą alifatyczną. Jest silną zasadą; toksyczny, działa parząco na skórę. Okres gwarancyjny utwardzacza wynosi 1,5 roku.

Klej przygotowuje się ze składników w następującej kolejności (części ciężarowe):

— żywica epoksydowa „Epidian 5" — 100 części,
— wypełniacz, cement portlandzki 350 — 65 części,
razem mieszać 5 min.

Bezpośrednio przed użyciem dodać:

— utwardzacz Z-1 — 10÷13 części.

Okres użytkowania kleju w temperaturze 20°C równy jest około 30÷60 min, zależnie od ilości masy. Po tym okresie lepkość kompozycji szybko wzrasta, masa żeluje i twardnieje. Całkowite utwardzenie w temperaturze 20°C następuje po 7÷14 dniach.

W celu przedłużenia żywotności kleju należy naczynie z klejem chłodzić zimną wodą.

Powierzchnie stalowe powinny być ocynkowane lub oczyszczone mechanicznie od śladów korozji i dokładnie odtłuszczone. Powierzchnie duralowe powinny być anodowane w kwasie siarkowym lub kwasie chromowym i dokładnie odtłuszczone benzyną ekstrakcyjną lub tri oraz wysuszone.

Klej nanosi się dwustronnie za pomocą pędzla lub łopatki. Po naniesieniu należy zastosować przetrzymanie otwarte wynoszące około 10 minut. Po złożeniu powierzchni następuje okres przetrzymania zamkniętego około 20 minut. Następnie należy wywrzeć docisk 1 kG/m² przez 10÷14 godzin w temperaturze pokojowej. Temperatura utwardzania nie może być niższa niż 16°C. Po zdjęciu zacisków następuje okres sezonowania przez 24 godziny w temperaturze pokojowej.

Okres całkowitego utwardzania można skrócić przez dotwardzanie w podwyższonej temperaturze.

Klej o podanym wyżej składzie można rozcieńczyć w celu pokrywania dużych powierzchni. Należy wówczas stosować rozcieńczalnik w postaci eteru butyloglicydowego w ilości 10 części ciężarowych w stosunku do żywicy „Epidian 5". Żywicę miesza się z rozcieńczalnikiem, a potem dopiero wprowadza cement i utwardzacz.

Klej epoksydowy dobrze skleja konstrukcje sztywne, jest jednak wrażliwy na odkształcenia, uderzenia i oddzieranie. Poza tym nie jest odporny na podwyższone temperatury.

Wytrzymałość na ścinanie w temperaturze pokojowej wynosi 100÷150 kG/cm². Wytrzymałość tę można zwiększyć przez dogrzewanie w temperaturze 80°C w ciągu 4 godzin. W przypadku duralu wytrzymałość można podwyższyć przez pokrycie anodowanych powierzchni warstwą lakieru z żywicy epoksydowej utwardzanej na gorąco w temperaturze 160÷180°C.

Klej epoksydowy jest wrażliwy na starzenie.

### 8.7.2. Klej fenolowy modyfikowany BWF-21

W nowoczesnych konstrukcjach szybowcowych zachodzi konieczność technologicznego klejenia drewna z metalem. Przy tego rodzaju łączeniach najpierw przygotowuje się powierzchnię metalu przez nałożenie warstwy

kleju, następnie przykleja się do tej warstwy drewno odpowiednim klejem do drewna.

Klej BWF-21 jest środkiem wytwarzającym warstwę pośrednią na metalu. Należy do grupy klejów wiążących na gorąco. Jest to roztwór alkoholowy mieszaniny żywicy fenolowo-formaldehydowej z termoplastyczną żywicą poliwinylo-butyralową. Żywica fenolowo-formaldehydowa nadaje wytrzymałość połączeniu, żywica zaś poliwinylo-butyralowa — przyczepność i elastyczność. Liczba „21" oznacza stosunek żywicy poliwinylo-butyralowej do fenolowo-formaldehydowej (2 : 1).

Klej powinien być przechowywany w szczelnie zamkniętych opakowaniach metalowych w pomieszczeniach zabezpieczonych przed wpływami atmosferycznymi w temperaturze do 15°C. Klej ten jest łatwopalny, odporny na temperaturę do —60°C. Dostarczany jest przez wytwórnię w stanie gotowym do użytku. W przypadku zgęstnienia kleju można go rozcieńczyć alkoholem etylowym. Po zżelowaniu klej nie nadaje się do rozcieńczenia i jest bezużyteczny. Czas użytkowania kleju BW-21 jest określony przez wytwórnię.

Do stanowiska pracy klej powinien być pobierany w czystym naczyniu przykrytym w celu uniknięcia szybkiego wysychania.

Powierzchnie duralowe, na które ma być nałożony klej, powinny być anodowane i bezpośrednio przed nałożeniem kleju odtłuszczone benzyną ekstrakcyjną lub tri.

Powierzchnie stalowe powinny być ocynkowane lub odczyszczone ze śladów korozji, a przed samym nakładaniem — odtłuszczone.

Do kleju BWF-21 nie dodaje się żadnych utwardzaczy, aby nie wywoływać korozji metalu i dlatego utwardzanie żywicy polega na jej wygrzewaniu w odpowiednich temperaturach.

Klej nanosi się na powierzchnię metalu dwustopniowo. Pierwszą warstwę nanosi się cienko za pomocą pędzla równomiernie rozprowadzając go, następnie suszy się na powietrzu w ciągu 1 godziny lub przez 15 minut w temperaturze 60°C. Po ostudzeniu nakłada się drugą warstwę i suszy najpierw przez 15 minut w temperaturze 60°C, później w ciągu 1 godziny w temperaturze 90°C, wreszcie w ciągu następnej 1÷1,5 godziny w temperaturze 150°C i razem z piecem studzi do temperatury 60°C.

Sprawdzianem dobrze utwardzonego kleju jest przetarcie powierzchni watką zwilżoną w acetonie; watka po wytarciu powierzchni nie powinna żółknąć.

Do tak przygotowanej powierzchni blach można przyklejać drewno przy użyciu kleju AG lub AR, zachowując odpowiednie parametry klejenia tych klejów.

Klej BWF-21 można również użyć do łączenia nieodpowiedzialnych elementów metalowych. Ponieważ warstwa nanoszonego kleju jest bardzo mała, powierzchnie muszą być ze sobą dopasowane z luzem nie większym niż 0,05 mm. Pierwsze warstwy nanosi się osobno na każdą powierzchnię, po wysuszeniu nakłada się drugą i suszy przez 15 minut w temperaturze 60°C. Po tym okresie powierzchnie należy złożyć ze sobą, wywrzeć docisk 10÷20 kG/cm², aby nie było miejsc niedoklejonych i utwardzać stosując stopniowanie temperatur podane poprzednio.

Zużycie kleju na jedną warstwę wynosi 100 g na 1 m². Lepkość kleju w temperaturze 20°C mierzona kubkiem Forda $\phi$ 4 mm powinna wynosić 119÷355 sek, wytrzymałość spoiny klejowej na ścinanie (dural z duralem) w temperaturze 20°C nie mniej niż 200 kG/cm².

Klej BWF-21 ma średnio wysoką wytrzymałość na oddzieranie, a trwałość spoiny klejowej jest niezadowalająca.

#### 8.7.3. Klej kauczukowy Bułapren

Klej tego typu służy do klejenia na zimno gumy z gumą, gumy ze skórą, skóry ze skórą oraz gumy z metalem. Jest on produkowany na podstawie neoprenu. Można go rozcieńczać benzyną.

Klej należy przechowywać w szczelnie zamkniętych naczyniach z dala od ognia w temperaturze od 5 do 25°C i wilgotności 50÷65%. Klej oziębiony żelowacieje, można zaś go przywrócić do normalnej postaci przez podgrzanie w temperaturze 15÷18°C. Wytwórca daje 3-miesięczny okres gwarancji.

Przed użyciem klej należy dokładnie wymieszać. Powierzchnie sklejane należy przetrzeć papierem ściernym i odpylić.

Przy klejeniu gumy klej nanosi się jednokrotnie na obie powierzchnie pędzlem o twardym włosie. Materiały skórzane i tekstylne powleka się dwukrotnie, lecz drugą warstwę nakłada się dopiero po upływie 25 min od nałożenia pierwszej warstwy.

Bardzo ważne jest zachowanie przetrzymania otwartego, wynoszącego 25 min od założenia ostatniej warstwy. Okres ten jest potrzebny do całkowitego odparowania rozpuszczalników.

Następnie powierzchnie zwiera się ze sobą i wywiera docisk 1÷4 kG/cm² zależnie od twardości materiałów w czasie 5÷10 minut. Pełną wytrzymałość otrzymuje się po 3 dobach.

Lepkość kleju mierzona kubkiem Forda wynosi 90÷170 sek. Wytrzymałość skleiny gumy ze skórą na ścinanie badana po 72 godzinach wynosi 15 kG/cm², na oddzieranie zaś — 4,0 kG/cm. Skleina odporna jest na smary, ale pęcznieje pod wpływem benzyny.

Przedstawicielem klejów należących do tej samej grupy jest klej zagraniczny K88, Colla lub Helmitex.

#### 8.7.4. Klej epoksydowy modyfikowany ME-1

Omówione kleje do metalu są klejami utwardzanymi na zimno. Do łączenia odpowiedzialnych elementów konstrukcyjnych nadają się jedynie kleje utwardzane na gorąco. Przedstawicielem takiego kleju jest krajowy klej ME-1. Klej ten jest wytwarzany na bazie żywicy epoksydowej Epidian 1 zmodyfikowanej poliwinylobutyralem.

Klej ME-1 wytwarzany jest w postaci roztworu oraz w postaci błony. Stosowanie właściwej formy kleju zależy od konkretnego zastosowania w danym fragmencie konstrukcyjnym. Przy klejeniu płaszczyzn blach lepiej jest stosować klej w postaci błony, bowiem klej w postaci roztworu trzeba nanosić kilkakrotnie na łączone powierzchnie i każdorazowo wygrzewać.

Przy klejeniu wypełniaczy komórkowych stosuje się klej w postaci ciekłej, gdyż trzeba wytworzyć wstępnie meniski kleju na obwodzie każdej komórki.

Klej ME-1 w postaci cieczy jest roztworem alkoholowo-acetonowym podanej powyżej żywicy zmodyfikowanej i utwardzacza, w postaci zaś błony jest mieszaniną sproszkowanej żywicy zmodyfikowanej i utwardzacza. Mieszanina ta jest sproszkowana na gorąco z siatką stylonową, która zabezpiecza błonę przed kruchością.

Okres gwarancyjny wynosi 12 miesięcy.

Powierzchnie klejone wymagają bardzo starannego przygotowania. Blachy duralowe należy trawić w kąpieli z kwasu siarkowego i bezwodnika chromowego. Można też blachy anodować, co daje taką samą przyczepność. Przed tymi zabiegami dural odtłuszcza się trójchloroetylenem. Po przygotowaniu blach nie wolno ich dotykać rękami bez rękawic.

Klej w postaci błony należy również przed użyciem bardzo starannie przygotować. Powierzchnie należy przemyć benzyną ekstrakcyjną i wysuszyć w temperaturze 70° C w ciągu 1 godziny.

Po naniesieniu kleju w postaci roztworu na powierzchnie klejone należy zastosować przetrzymanie otwarte przez 1 godzinę w celu odparowania rozpuszczalnika. Po tym okresie blachy suszy się w temperaturze 80° C przez 1 godzinę. Następnie składa się, wywiera docisk 2 kG/cm$^2$ i utwardza klej w temperaturze 163°C przez 2,5 godz lub w 173°C przez 1,5 godz. Podane temperatury odnoszą się do kleju, a nie otoczenia.

Klej ME-1 ma wszystkie własności kwalifikujące go do klejów używanych w połączeniach pierwszorzędowych. Najpoważniejsze wymagania, jak odporność na starzenie, wytrzymałość zmęczeniowa, wytrzymałość na ścinanie i na oddzieranie są całkowicie spełnione i odpowiadają klejom powszechnie stosowanym w lotnictwie, jak Redux 775 lub MPF-1.

Lepkość kleju w postaci roztworu wynosi w temperaturze 20°C 6÷11° E. Najmniejsza wytrzymałość kleju na ścinanie w temperaturze 20°C powinna wynosić 350 kG/cm$^2$, a na oddzieranie — 5 kG/cm.

Rozdział 9

# ZESTAWY KONSTRUKCJI DREWNIANYCH

## 9.1. BUDOWA SKRZYDŁA

W budowie skrzydeł szybowcowych można rozróżnić kilka rodzajów procesów technologicznych. Wynikają one z przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych.

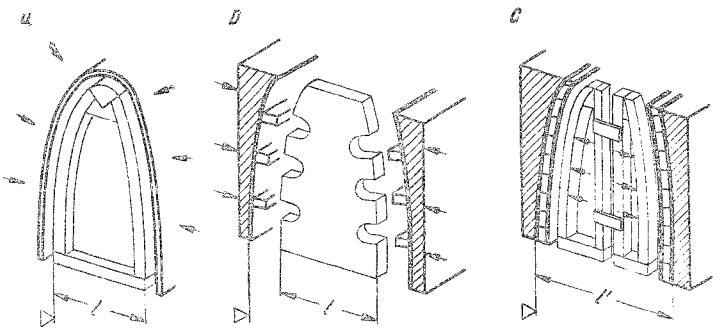
Budowa konstrukcji dźwigarowych polega na sklejeniu całego szkieletu, a po jego wykonaniu — pokryciu go sklejką.

Budowa konstrukcji półskorupowych z niepasowanymi podłużnicami w żeberkach polega na wstępnym wykonaniu dolnego i górnego pokrycia sklejkowego z podłużnicami, wklejaniu żeber do jednego pokrycia i zaklejeniu pokrycia drugiego.

Budowa konstrukcji półskorupowej z pasowanymi podłużnicami w żeberkach polega na sklejeniu całego szkieletu z podłużnicami i pokryciu go sklejką.

Pierwszy system wykorzystuje część konstrukcyjną, jaką jest dźwigar główny, jako podstawę montażową, wokół której dobudowuje się szkielet, drugi i trzeci natomiast musi mieć tę podstawę w oprzyrządowaniu warsztatowym. Jasne jest, że takie oprzyrządowanie jest kosztowniejsze.

Jednym z podstawowych zagadnień w budowie skrzydła jest dotrzymanie jego geometrii zewnętrznej.




*Rys. 9-1. Schematy budowy skrzydła*

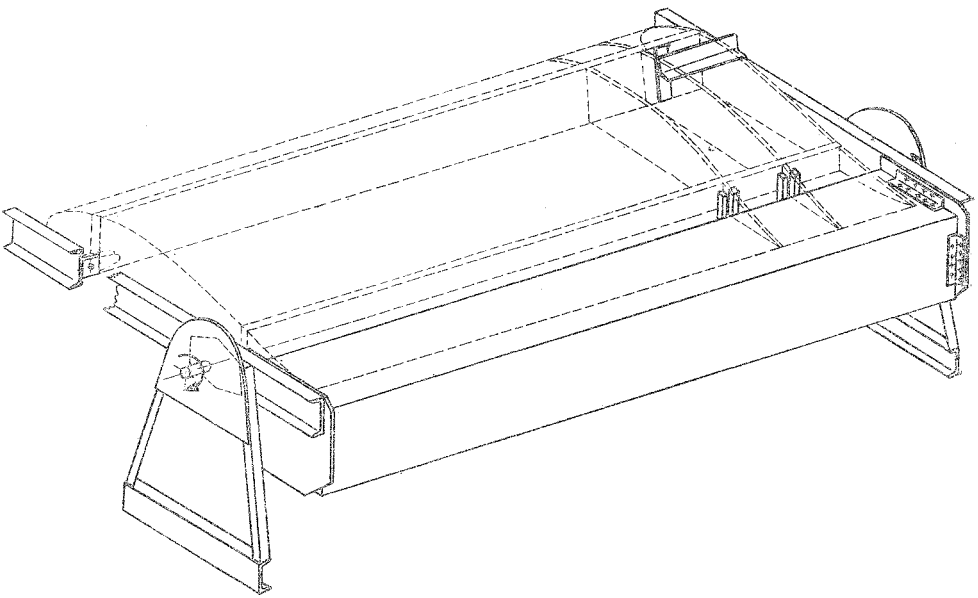
Na rysunku 9-1 pokazano schematy budowy skrzydła z zaznaczonymi powierzchniami bazowymi montażu. Na schemacie *a* odpowiadającym skrzydłom szkieletowym z dźwigarem głównym wytypowaną bazą mon-

tażową jest obwód żeberka. Na żeberko zakłada się pokrycie sklejkowe, które ma swoją tolerancję grubości. Tolerancja wykonania idzie więc na zewnątrz od profilu żebra.

Na schemacie *b* i *c* bazą montażową jest powierzchnia gotowego skrzydła z pokryciem. Pokrycie ma swoją tolerancję grubościową. Tolerancja wykonania idzie do wewnątrz konstrukcji.

Na rysunku 9-1 pokazane są również schematycznie kierunki wywierania docisków przy montażu. Na schemacie *a* sklejkę pokryciową dociska się do obwodu żeberka z zewnątrz za pomocą gwoździkowania lub taśm obejmujących. Na schemacie *b* oba pokrycia sklejkowe z przyklejonymi podłużnicami dociska się do obwodu żeberka z zewnątrz za pomocą oprzyrządowania. Na schemacie *c* oprzyrządowanie zapewnia wymiar *l'*, a do pokrycia warstwowego dociska się od wewnątrz żeberko, które jest dzielone i ma nakładki kompensujące wysokości żebra.

Większość szybowców szkolnych i treningowych ma konstrukcję dźwigarową. Najprostsza konstrukcja stosowana w szybowcach szkolnych, gdzie występuje wysoki profil aerodynamiczny, przewiduje nawlekanie żeber na dźwigar główny i dźwigar tylny. Do zmontowania szkieletu wystarczają zwykłe stojaki warsztatowe. Przy produkcji seryjnej stosuje się wyposażenie stałe, umożliwiające jednakowe składanie skrzydła.

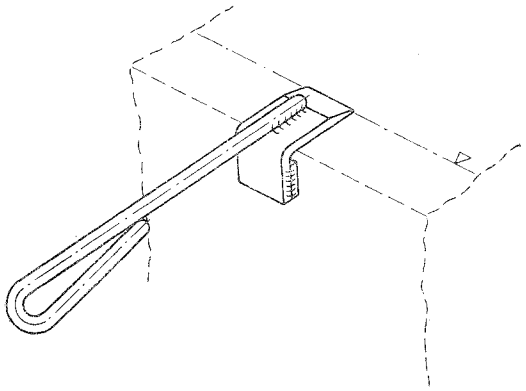


*Rys. 9-2. Seryjne oprzyrządowanie skrzydła szybowca szkolnego*

Przykład oprzyrządowania seryjnego skrzydła szybowca szkolnego przedstawiono na rysunku 9-2. Przyrząd ten wykorzystuje sztywność dźwigarów, podpiera tylko spływy żeber drewnianą rurą o przekroju kwadratowym. Całość obraca się, aby udostępnić szkielet do wyrównywania, czyszczenia i przyklejania sklejki kesonu przedniego.

W innych szybowcach o konstrukcji dźwigarowej prace przy zestawianiu skrzydła dzieli się na wykonanie kesonu przedniego, następnie dostawienie dźwigara tylnego z drugą częścią żeber i listwą spływu oraz krycie pokryciem sklejkowym partii skrzydła poza kesonem.

Dźwigar główny zamocowuje się na stałe do przyrządu, na nim wyznacza się położenia poszczególnych nosków, dokleja się noski sprawdzając prostopadłość za pomocą pionu, zacina się noski na listwę natarcia, przykleja listwę natarcia, całość fazuje do profilu, czyści i przykleja pokrycie sklejkowe wstępnie uformowane.

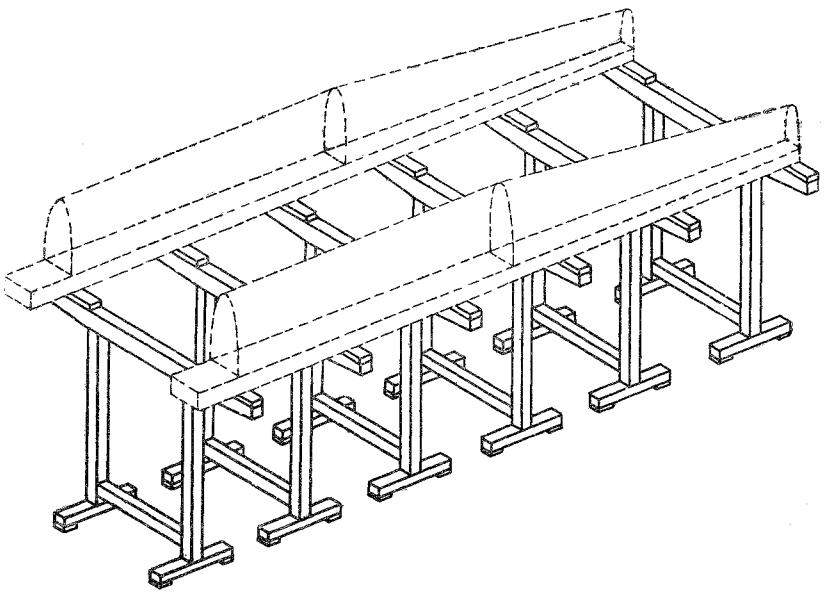


*Rys. 9-3. Znacznik osi cięciw na dźwigarze głównym*

Jako znacznik położenia osi cięciw na dźwigarze służyć może w produkcji seryjnej narzędzie ręczne pokazane na rysunku 9-3.

Przykład oprzyrządowania prototypowego budowy kesonu przedniego skrzydła pokazano na rysunku 9-4. Dźwigar przymocowuje się do stojaków za pomocą ręcznych ścisków śrubowych. Poziome położenie dźwigara zapewniają podkładki drewniane ułożone na stojaku.

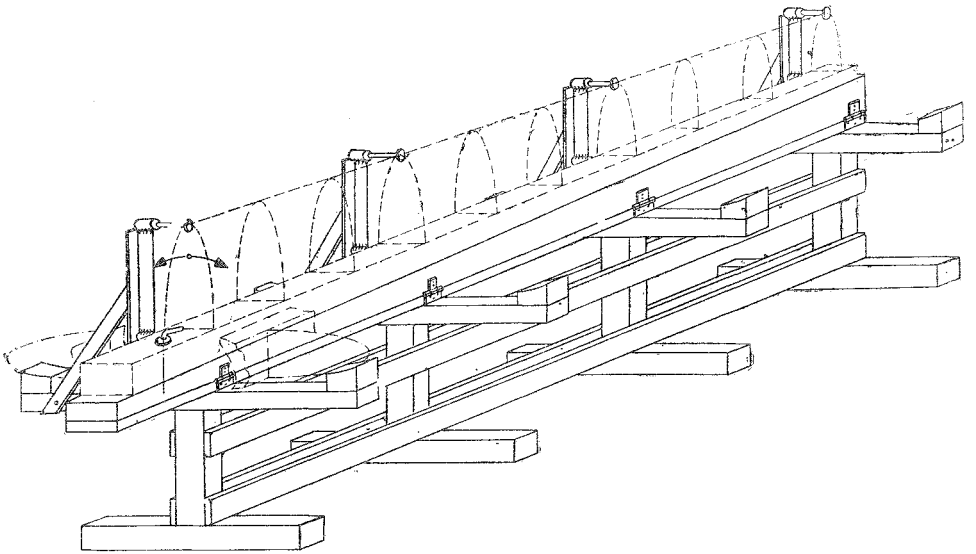
Rysunek 9-5 podaje przykład seryjnego oprzyrządowania zestawu kesonu skrzydła. Przyrząd ten umożliwia układanie dźwigara z przyklejonymi żebrami na obie strony, przez co ułatwia fazowanie poszczególnych



*Rys. 9-4. Prototypowe oprzyrządowanie budowy kesonu skrzydła*

żeber i dźwigara. W celu przyspieszenia czynności ustawiania nosków do pionu przyrząd jest wyposażony w zderzaki na noskach kontrolnych.

Na skrzydle znajdują się w partii noskowej punkty niwelacyjne, według których przeprowadza się niwelację całego szybowca. Przyrząd pokazany na rysunku 9-6, ułatwia wyznaczenie miejsca, w którym należy

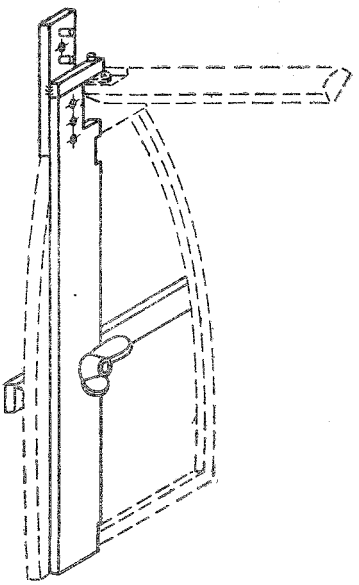


*Rys. 9-5. Przyrząd montażowy do seryjnej budowy kesonu skrzydła*

przykręcić odpowiednią blaszkę niwelacyjną. Przyrząd ustawia się do cięciwy żebra za pomocą dwóch zacięć. Służy do lewego i prawego kesonu skrzydła.

Przed zaklejeniem kesonu należy starannie zakonserwować dźwigar, noski i listwę natarcia oraz stronę wewnętrzną pokrycia sklejkowego. Na pokryciu sklejkowym muszą pozostać surowe miejsca przeznaczone do klejenia. Jako środka konserwacyjnego używa się podkładu nitrocelulozowego jasnożółtego DD 113 o symbolu 51/02/80. Podkład nanosi się pędzlem.

Przy klejeniu kesonu wymagany docisk wywiera się za pomocą gwoździkowania lub zaciskami taśmowymi, w zależności od kształtu noska. Do gwoździkowania używa się gwoździ stalowych o powierzchni szorstkiej, uzyskanej sposobem galwanicznym lub skorodowanej w kwasie w celu zwiększenia przyczepności w drewnie. Do klejenia dużych krzywizn stosuje się paski sklejkowe z nabitymi gwoździkami (tabl. 9-1).



*Rys. 9-6. Przyrząd do ustawienia blaszki niwelacyjnej*

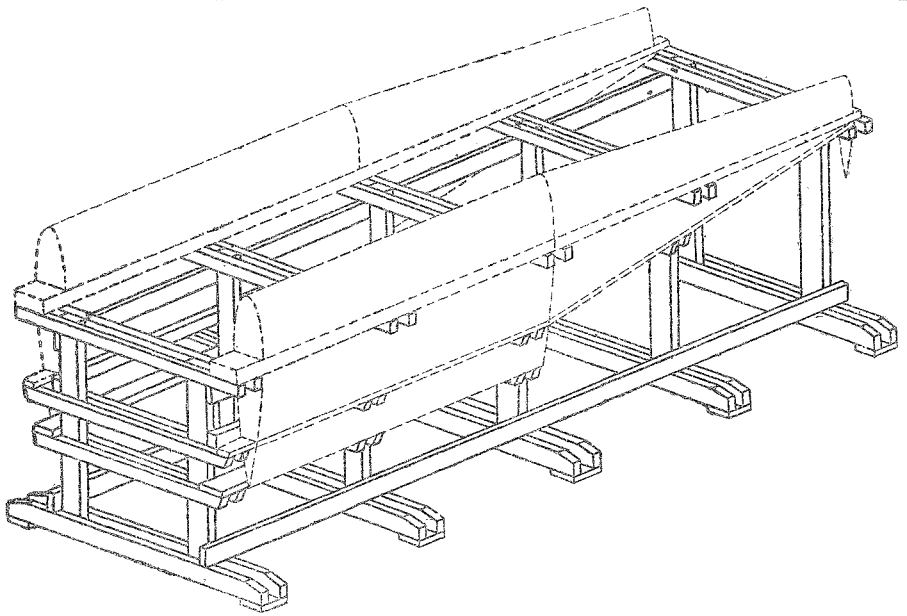
Po wykonaniu kesonu przedniego należy dobudować tył skrzydła. Prototypowy przyrząd zestawu skrzydła pokazano na rysunku 9-7. Przyrząd ma wysięgniki, na których leży keson skrzydłowy, dźwigar tylny oraz listwa spływu. Pomiędzy te elementy wzdłużne wkleja się środkowe i tylne części żeber i zakleja pola sklejkowe.

Oprzyrządowanie seryjne, metalowe, pokazane jest na rysunkach 9-8 i 9-9.

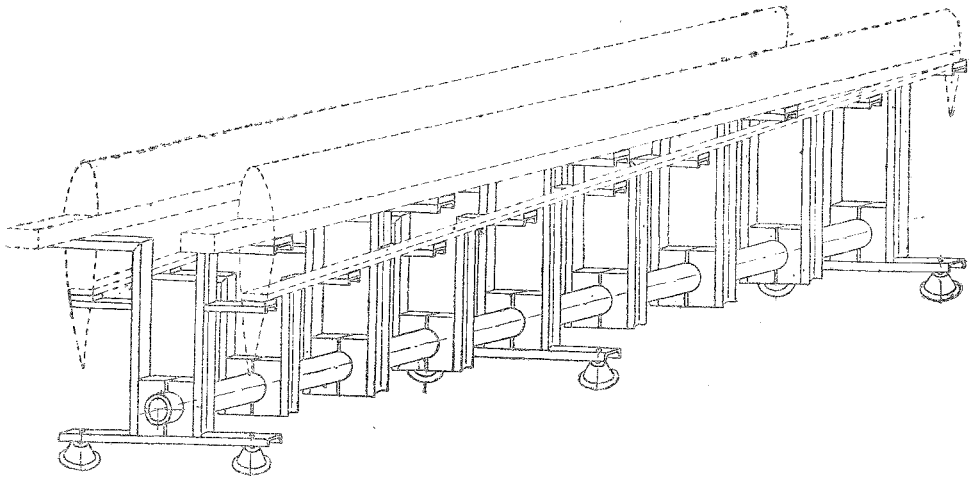
Tablica 9-1

Wytyczne do wywierania docisku sposobem gwoździkowania w mm

| Szerokość powierzchni klejenia | Paski sklejkowe | | Listwy sosnowe | | Odstępy między gwoździami | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | wymiar gwoździ | przekrój paska | wymiar gwoździ | przekrój listwy | liczba rzędów | odległość w rzędzie | odległość między rzędami |
| do 10 | 10×13 | 1,5×12 | 10×13 | 3×12 | 1 | 15 | — |
| 11÷15 | 10×13 | 2×15 | 12×17 | 4×15 | 1 | 15 | — |
| 16÷25 | 10×13 | 2×25 | 12×17 | 4×25 | 2 w zygzak | 15 | 15 |

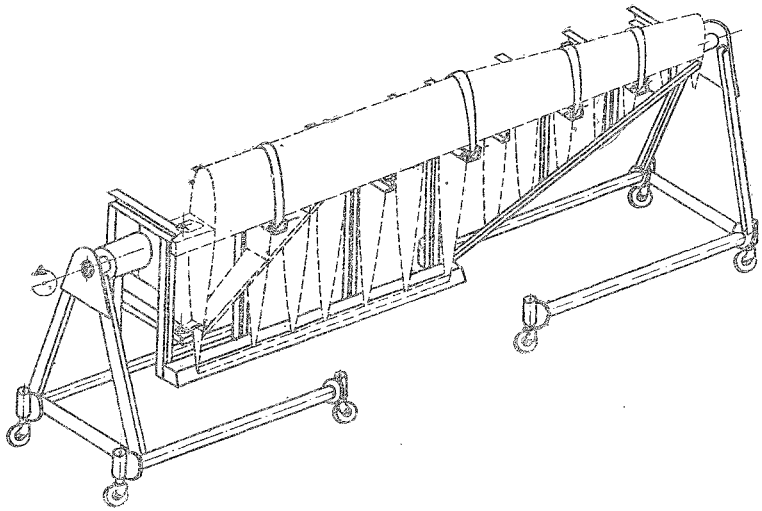


*Rys. 9-7. Prototypowy przyrząd do zestawu skrzydła dźwigarowego*

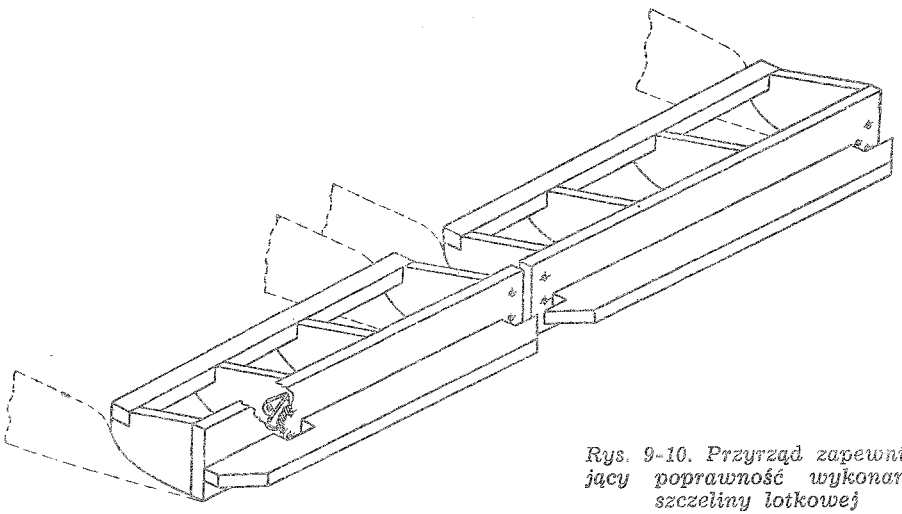


*Rys. 9-8. Przyrząd metalowy do zestawu skrzydła dźwigarowego*

Przy zestawianiu tyłu skrzydła ważne jest dokładne wykonanie szczeliny lotkowej. Kształt szczeliny tolerowany jest zazwyczaj w warunkach technicznych szybowca. W budowie seryjnej oprzyrządowuje się to miejsce specjalnie. Przykład przyrządu w wersji drewnianej pokazano na rysunku 9-10.



*Rys. 9-9. Przyrząd metalowy, obrotowy do zestawu skrzydła dźwigarowego. Skrzydło prawe, lewe symetryczne*



*Rys. 9-10. Przyrząd zapewniający poprawność wykonania szczeliny lotkowej*

Budowę skrzydła o konstrukcji półskorupowej z niepasowanymi podłużnicami w żeberkach (patrz schemat *b* na rys. 9-1) rozpoczyna się od klejenia pokryć sklejkowych z podłużnicami. Zazwyczaj same pokrycia są klejone z co najmniej dwóch sklejek. (Schemat klejenia podciśnieniowego pokrycia sklejkowego pokazuje rysunek 6-38).

Do klejenia można zastosować prosty foremnik drewniany wykonany z ramy i grubej sklejki jako podłoże pod sklejane warstwy sklejkowe lub

przyrząd, w którym następnie zestawia się całe skrzydło. Oba rodzaje foremników mają położenie poziome i są przez to bardzo miejscochłonne.

Przyrząd, w którym sklejane są pokrycia sklejkowe, a później zestawiane skrzydła, musi być zbudowany bardzo masywnie. Przyjął się system budowania przyrządu o konstrukcji ramowej, z profilów stalowych, wypełnionej betonem. Powierzchnia górna betonu ma kształt niecki. Powierzchnię uzupełnia się dodatkowo tworzywem magnezytowo-gipsowym. Jest ono wystarczająco wytrzymałe na ściskanie i uderzenia oraz charakteryzuje je mała rozszerzalność liniowa.

Własności fizyczne przedstawiają się następująco:

— wytrzymałość na ściskanie — 330 kG/cm$^2$,
— rozszerzalność liniowa — 0,09 mm/m.

Tworzywo przygotowuje się we własnym zakresie. Ze względu na szybko postępujące twardnienie mieszanki konieczne jest wstępne przygotowanie całego stanowiska roboczego.

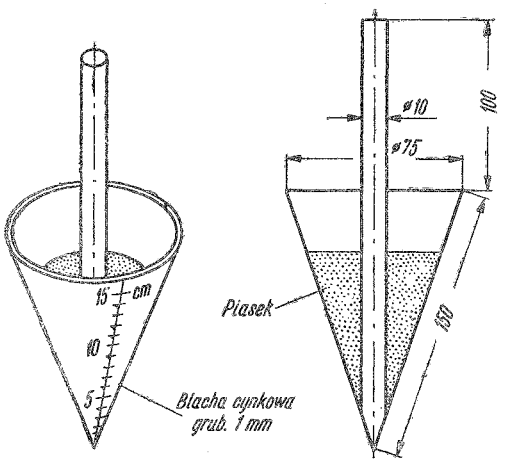
W celu uzyskania 1 dm$^3$ tworzywa należy użyć następujących składników:

— magnezyt kaustyczny — 0,4 kG,
— gips budowlany — 0,8 kG,
— roztwór wody z chlorkiem magnezowym o stężeniu 10° Baumego — 0,68 l.

Zarówno gips, jak i magnezyt kaustyczny muszą być bardzo dobrze przesiane. Stosuje się sito o oczkach 0,3 mm.

Roztwór wody z chlorkiem magnezowym przygotowuje się w naczyniu ceramicznym lub emaliowanym. Do sprawdzenia stężenia używa się aerometru wyskalowanego w stopniach Baumego.

Tworzywo przygotowuje się podobnie jak masę gipsową. Najpierw odmierza się do naczynia odpowiednią ilość roztworu wody z chlorkiem magnezowym. Następnie mieszając ciecz łopatką dosypuje się odpowiednie ilości magnezytu i gipsu. W mieszaninie nie powinny pozostać żadne ciała stałe i grudki, gdyż później przy wygładzaniu powierzchni masy zahaczają one o narzędzie wyrównujące i tworzą koleiny w już wygładzonej powierzchni. Mieszanie należy przeprowadzać szybko, w czasie 5 minut, badając gęstość masy specjalnym stożkiem pomiarowym.



*Rys. 9-11. Stożek pomiarowy gęstości masy*

Stożek, wykonany jak na rysunku 9-11, ustawia się pionowo, dotykając wierzchołkiem poziomu masy, i zwalnia. Powinien on zagłębić się o 8÷14 cm. Po uzyskaniu wymaganej gęstości masy należy natychmiast zalać nią przygotowaną powierzchnię.

W okresie 2÷3 godzin od zalania foremnika masa jest jeszcze łatwo obrabialna. Później następuje okres całkowitego wiązania się składników, który wynosi 2÷4 dni. W tym okresie i później materiał jest bardzo trudny do obróbki, można go jedynie szlifować lub cyklinować.

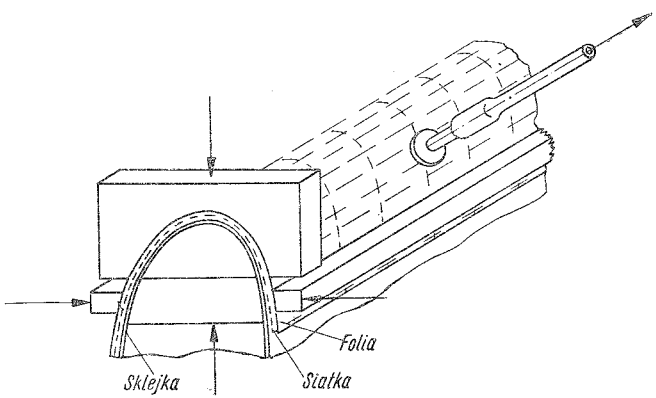
Przy zalewaniu masą magnezytowo-gipsową, mającą charakter alkaliczny, konstrukcji oprzyrządowania o różnych metalach, np. stali i duralu, należy wyraźnie izolować te metale od siebie, bowiem w przeciwnym przypadku zaczynają się tworzyć lokalne ogniwa i na styku z duralem powstają wycieki wodorotlenku. Przy nakładaniu tworzywa magnezytowo-gipsowego należy powierzchnię betonu dobrze zwilżyć wodą. Najkorzystniej jest kłaść kolejno warstwy o grubości około 5 mm co 3÷6 godzin. Przed nałożeniem następnej warstwy należy poprzednią zwilżyć wodą. Powierzchnię wygładza się listwą drewnianą wodząc ją po krawędziach ustawionych wzorników.

Przyklejanie podłużnic do pokrycia sklejkowego wykonuje się metodą podciśnieniową. Podłużnice z naniesionym klejem układa się na pokryciu i przykrywa siatką z tworzywa sztucznego o wielkości oczek 2×2 mm i grubości około 0,5 mm oraz folią igelitową, spod których wypompowuje się powietrze. Podciśnienie mierzone wakuometrem powinno wynosić 0,5 kG/cm². Podczas klejenia należy sprawdzać, czy podłużnice nie ześlizgują się z pochyłej płaszczyzny pokrycia sklejkowego i ewentualnie je rozeprzeć rozpórkami. Należy pamiętać, że ciśnienie rozchodzi się równomiernie i może nie pokonać sztywności drewna, jeżeli podłużnica byłaby źle dopasowana do podłoża.

W opisywanej metodzie budowy skrzydła oddzielnie przygotowuje się górne i dolne pokrycie z podłużnicami. Ze względów aerodynamicznych ważniejszy jest profil górny, dlatego zestaw skrzydła następuje w pozycji leżącej odwróconej, chyba że decydują jeszcze inne względy konstrukcyjne lub technologiczne.

Po sklejeniu szkieletu na pokryciu górnym i zakonserwowaniu wnętrza przykleja się z góry pokrycie dolne. W jednym i drugim przypadku stosuje się dociski mechaniczne lub pneumatyczne. Wymagają one mocnej konstrukcji, dlatego też cały przyrząd jest masywnie zbudowany.

Przyrząd do zestawu skrzydła jest analogicznej budowy jak przyrząd pokazany na rysunku 9-15, z tym że dno ma betonowe.



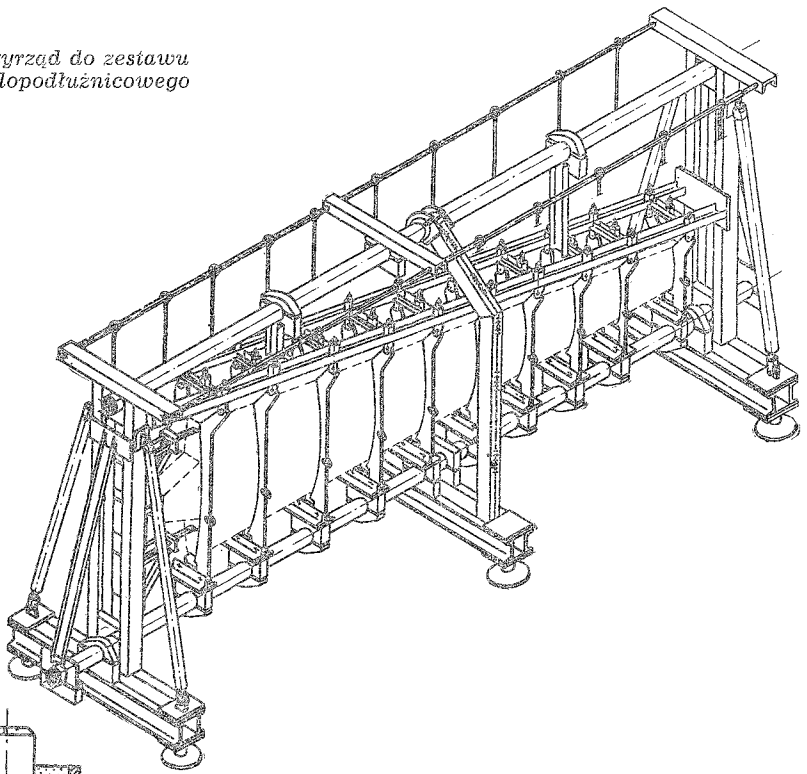

*Rys. 9-12. Schemat podciśnieniowego klejenia sklejki osłaniającej listwę natarcia*

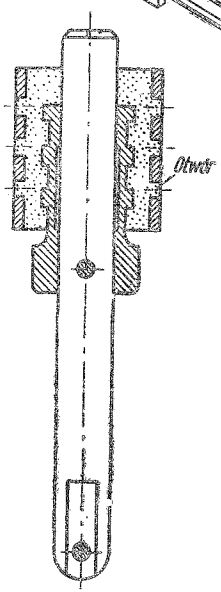
Pokrycia górne i dolne łączą się w partii noskowej szeroką listwą natarcia. Listwę wykańcza się poza przyrządem, według wzorników. Ze względu na wpływy atmosferyczne listwę wykonaną z drewna sosnowego należy okleić cienką sklejką. Bardzo praktyczne jest stosowanie docisku podciśnieniowego, jak na rysunku 9-12.

Budowę skrzydła o konstrukcji półskorupowej z pasowanymi podłużnicami w żeberkach rozpoczyna się od zestawienia całego szkieletu z żeberkami. Żeberka ustawia się w przestrzeni za pomocą ustalaczy i do nich po zapasowaniu przykleja się podłużnice.

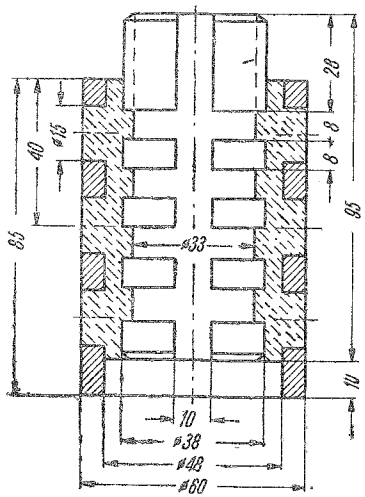
Ze względu na konieczność dostępu do górnej i dolnej powierzchni że-

*Rys. 9-13. Przyrząd do zestawu skrzydła wielopodłużnicowego*






*Rys. 9-14. Ustalacz zalany masą zalewową*



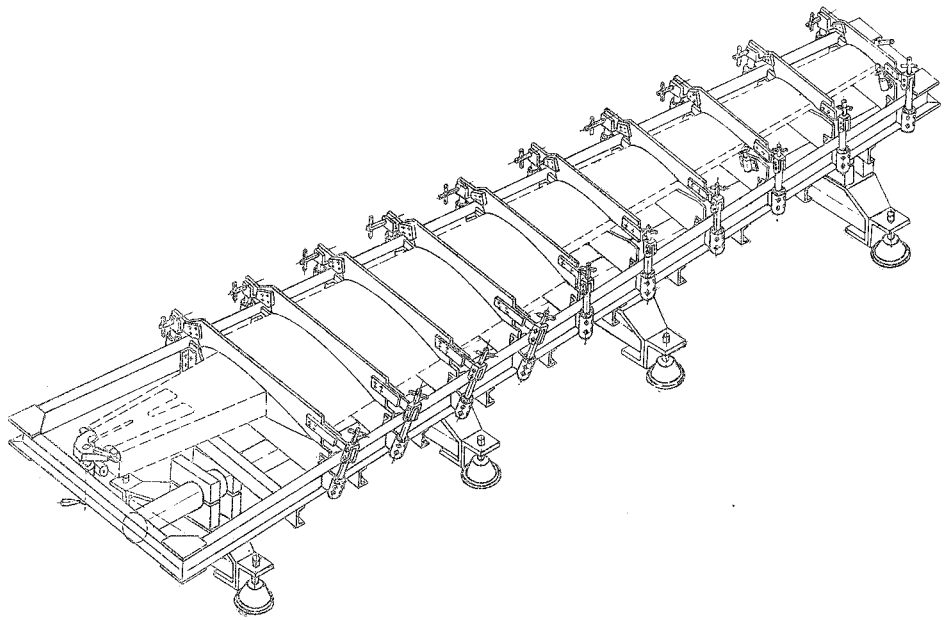

*Rys. 9-15. Próbka na wyrwanie zalanego trzpienia*

ber, stosuje się pionowy układ skrzydła w przyrządzie, jak na rysunku 9-13. Wykonany szkielet okleja się pokryciem sklejkowym. Przy klejeniu stosuje się docisk mechaniczny. Służą do tego obejmy przyrządu montażowego, jak na rysunku 9-13. Obejmy po wykorzystaniu można zawiesić na hakach. Ustalacze żeber osadzone są w tulejach i umiejscowione za pomocą kołków stożkowych. Podczas zdejmowania skrzydła z przyrządu ustalacze wycofuje się.

Zarówno tuleje ustalaczy, jak i uchwyty obejm osadza się podczas montowania przyrządu za pomocą masy zalewowej cementowo-gipsowej (rys. 9-14).

Po wykonaniu głównego zestawu skrzydła następuje druga faza budowy. Montuje się tylną partię skrzydła na przyrządzie, jak na rysunku 9-15. Skrzydło układa się na obejmach w pozycji leżącej. Całość przyrządu wykonana jest z metalu.

Wreszcie układa się skrzydło w stojakach, jak na rysunku 9-16, aby przeprowadzić stolarskie prace wykończeniowe.



*Rys. 9-16. Przyrząd pomocniczy zestawu skrzydła wielopodłużnicowego*

Przy pracach wykończeniowych należy pamiętać o wykonaniu otworów odwadniających, zgodnie z dokumentacją. Otwory umieszczane są w miejscach, gdzie może gromadzić się woda w czasie eksploatacji. Średnice otworów starannie wykończonych i zakonserwowanych nie powinny być mniejsze niż 5 mm.

### 9.2. MASA ZALEWOWA CEMENTOWO-GIPSOWA

Masa zalewowa składa się z mieszaniny cementu glino-ziemistego i gipsu budowlanego.

Masę przygotowuje się w bębnie obrotowym. Przed zmieszaniem należy zarówno cement, jak i gips przesiać przez sito o gęstości 350÷500

oczek na 1 $cm^2$. Następnie przygotowuje się mieszaninę cementu i gipsu w składzie (części ciężarowe):

— cement glino-ziemisty „500" — 65 części,
— gips budowlany I gatunku — 35 części

(uwaga: cement ze względu na nominalną wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach oznacza się 300, 350... 500).

Obydwa składniki należy bardzo starannie wymieszać. Mieszaninę należy zużyć w ciągu 24 godzin. Przechowywać w suchym pomieszczeniu.

Cement glino-ziemisty zdatny jest do użytku w ciągu 3 miesięcy od daty produkcji.

Przed zalewaniem ustalaczy w tulejach oprzyrządowania należy przygotowaną masę cementowo-gipsową rozwodnić. W tym celu przygotowuje się oddzielnie roztwór wody z chlorkiem litu w składzie:

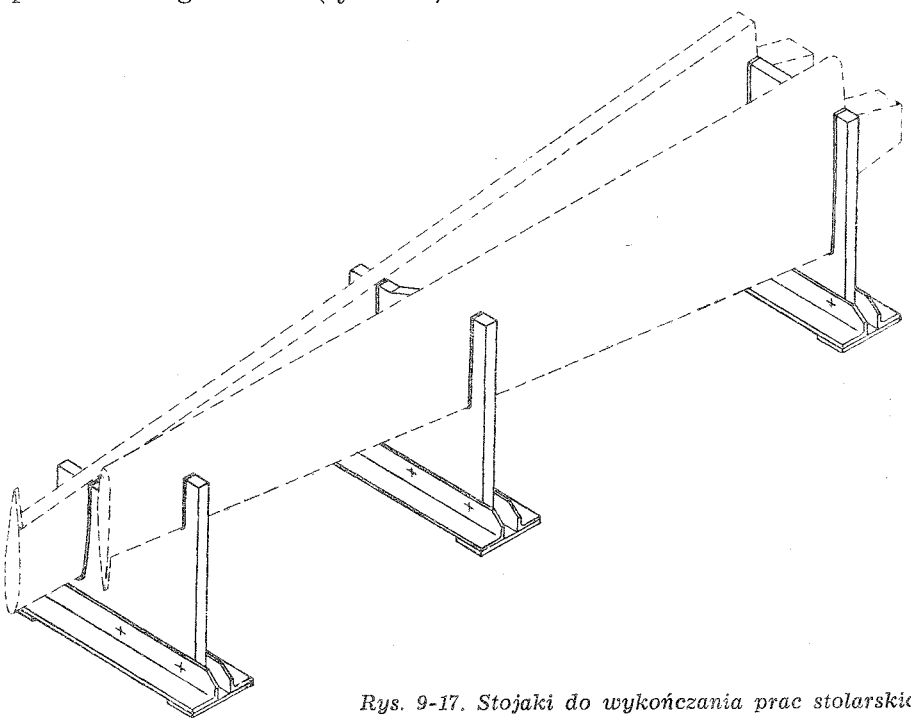
— chlorek litu 0,05÷0,3% ciężaru masy,
— woda 30÷40% ciężaru masy.

Najpierw należy wsypać do naczynia chlorek litu, a do niego wlewać wodę. Roztwór należy mieszać aż do całkowitego rozpuszczenia się chlorku litu. Do tego roztworu dosypuje się przygotowaną uprzednio porcję mieszaniny cementu i gipsu. Jeżeli masa jest za gęsta i nie tworzy gęstej papki, należy dolewać małe porcje wody. Dodanie za dużej ilości wody powoduje obniżenie własności wytrzymałościowych masy.

Przygotowaną masę należy natychmiast używać do zalania tulei ustalaczy. Po 30 min masa jest tak sztywna, że można zdjąć urządzenie podtrzymujące. Masa zdolna jest do przenoszenia obciążeń po upływie 40 godzin.

Masę nakłada się, w zależności od potrzeby, łopatką lub strzykawką.

Badania okresowe masy przewidują próbę na ściskanie oraz wyrwanie trzpienia zalanego w tulei (rys. 9-15).



*Rys. 9-17. Stojaki do wykończania prac stolarskich*

Do próby na ściskanie przygotowuje się 9 sześcianów o boku 20 mm. Dla trzech sześcianów badanych po jednej dobie od uformowania wymagane jest obciążenie niszczące minimum 210 kG/cm², dla trzech następnych badanych po 3 dobach — obciążenie niszczące wynosi minimum 250 kG/cm² i dla następnych trzech po upływie 28 dób — 320 kG/cm².

Do próby na wyrwanie trzpienia zalanego w tulei wykonuje się 9 zespołów według rysunku 9-17. Obciążenia niszczące przedstawiają się następująco:

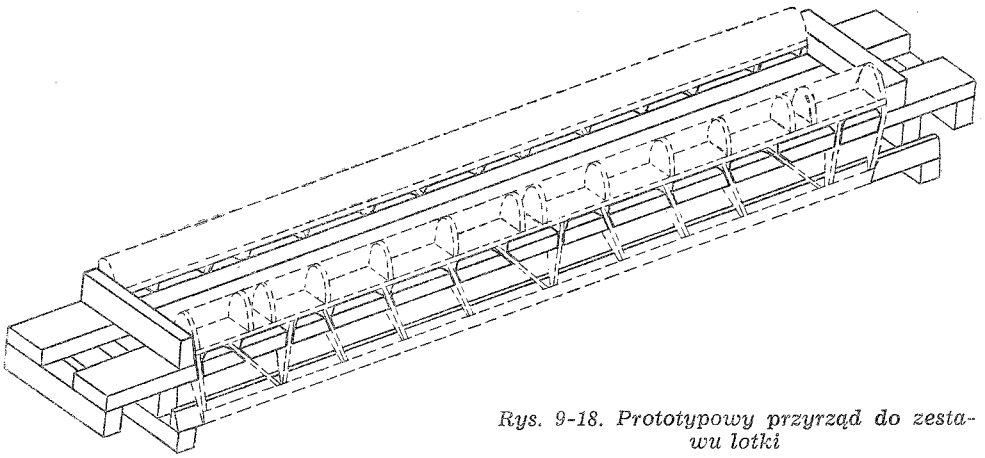
— po upływie 1 doby — 6 000 kG, 3 400 kG,
— po upływie 3 dób — 8 000 kG, 4 600 kG,
— po upływie 28 dób — 10 000 kG, 5 700 kG.

W czasie próby powinno nastąpić ścięcie masy cementowo-gipsowej na średnicy zewnętrznej czopa zalanego.

W przypadku konieczności usunięcia z tulei zalanych ustalaczy masę należy podgrzać palnikiem gazowym do 400°C i następnie studzić. Pod wpływem temperatury masa pęka. Należy najpierw usunąć czopy pozostałe w otworach tulei, a następnie resztę.

### 9.3. BUDOWA LOTEK

Konstrukcje lotek mają zawsze dźwigary, żebra i listwy spływu. Dla prototypu buduje się zazwyczaj jeden przyrząd, jak na rysunku 9-18. Zestawia się w nim najpierw cały szkielet posługując się ręcznymi ściskami sprężynowymi, a następnie zakrywa keson sklejką. Klejenie żeberek

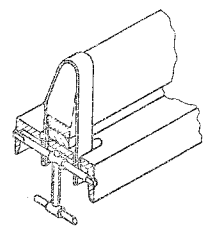


*Rys. 9-18. Prototypowy przyrząd do zestawu lotki*

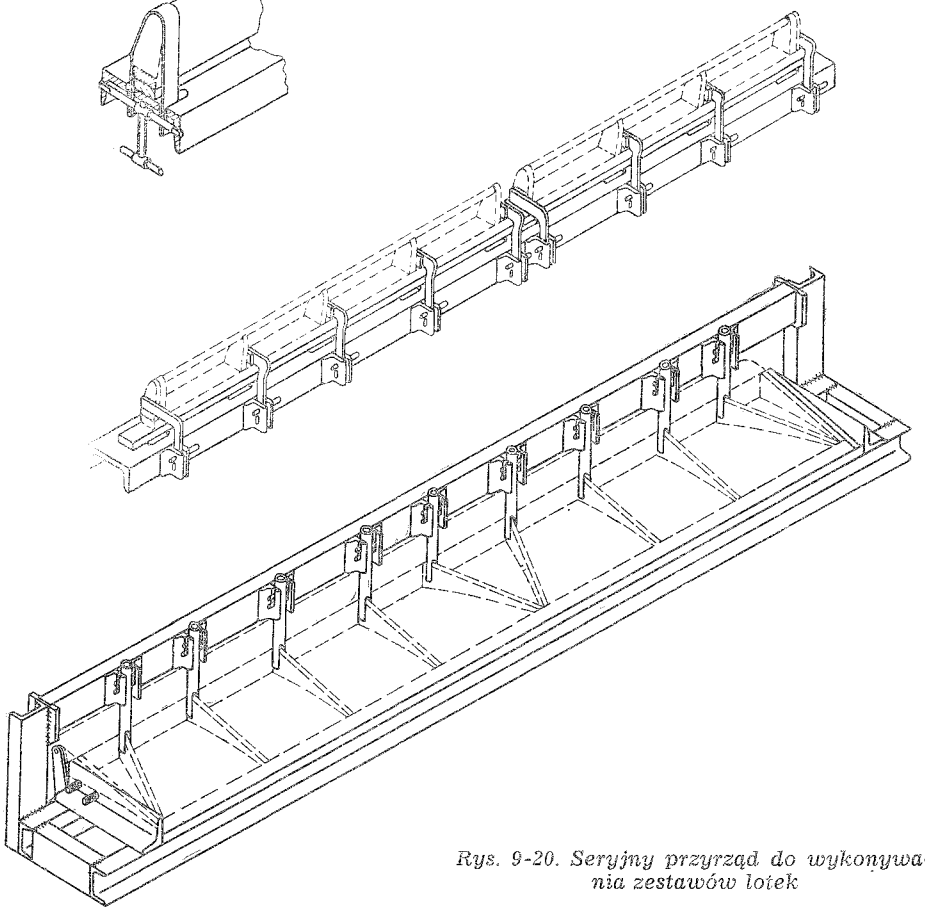
z dźwigarkiem wzmocnione jest zazwyczaj klockami sosnowymi, a cały węzeł oklejony sklejką. Niektóre rozwiązania przewidują wykonanie węzłów sklejkowych wprost ze sklejki kesonowej. Sposób ten jednak nie jest praktyczny, gdyż daje duże odpady materiału, a poza tym sprowadza się do ręcznego wycinania węzłów nożem. Lepszym rozwiązaniem jest naklejanie oddzielnych węzełków sklejkowych. Węzełki można wycinać na prasie za pomocą wykrojnika.

W produkcji seryjnej rozkłada się proces budowy lotki na dwie fazy. Pierwszą jest wykonanie samych kesonów na przyrządzie konstrukcji me-

talowej, jak na rysunku 9-19. Drugą fazą jest uchwycenie gotowych kesonów i dostawienie tyłu lotki, a więc żeberek i listwy spływu, jak na rysunku 9-20.



*Rys. 9-19. Seryjny przyrząd do wykonywania kesonów lotkowych*



*Rys. 9-20. Seryjny przyrząd do wykonywania zestawów lotek*

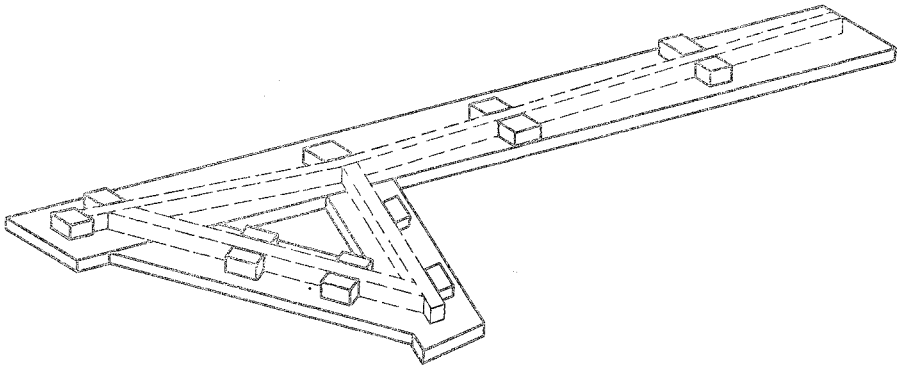
W celu ustalenia położenia nosków i żeberek bez ręcznego trasowania w obu przyrządach zastosowane są ustalacze metalowe, które można wycofać przy zdejmowaniu lotki z przyrządu.

Poziome położenie budowy szkieletu jest praktyczne, gdyż pozwala na swobodniejsze wykonywanie prac przy szlifowaniu i czyszczeniu drewna.

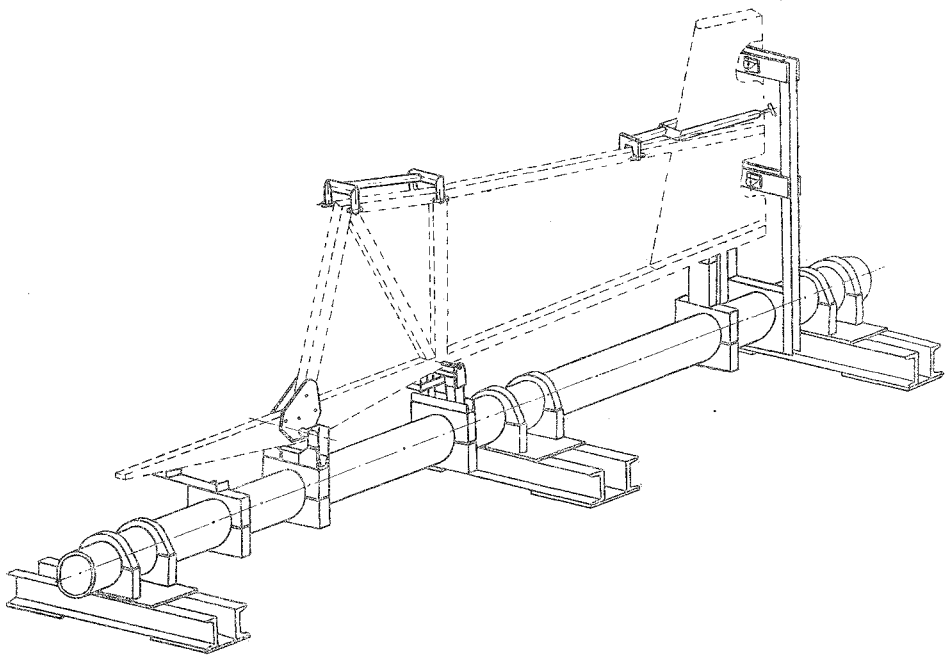
### 9.4. BUDOWA KADŁUBA

Kadłuby szybowców szkolnych konstruowane są w postaci prostych krat wykonanych z belek drewnianych powiązanych okuciami. Szybowce wyższej klasy — treningowe — mają zazwyczaj kadłuby o przekrojach wieloboków, a wyczynowe — kadłuby o przekrojach owalnych.

Na rysunkach 9-21 i 9-22 pokazano oprzyrządowanie kadłuba szybowca szkolnego. Podstawową ramę kadłuba wykonuje się w pozycji poziomej na prostym przyrządzie drewnianym wykonanym z desek. Kadłub montuje się w przyrządzie metalowym. Do przyrządu dochodzą jeszcze



*Rys. 9-21. Przyrząd do zestawiania kraty kadłuba szybowca szkolnego*



*Rys. 9-22. Przyrząd montażowy kadłuba szybowca szkolnego*

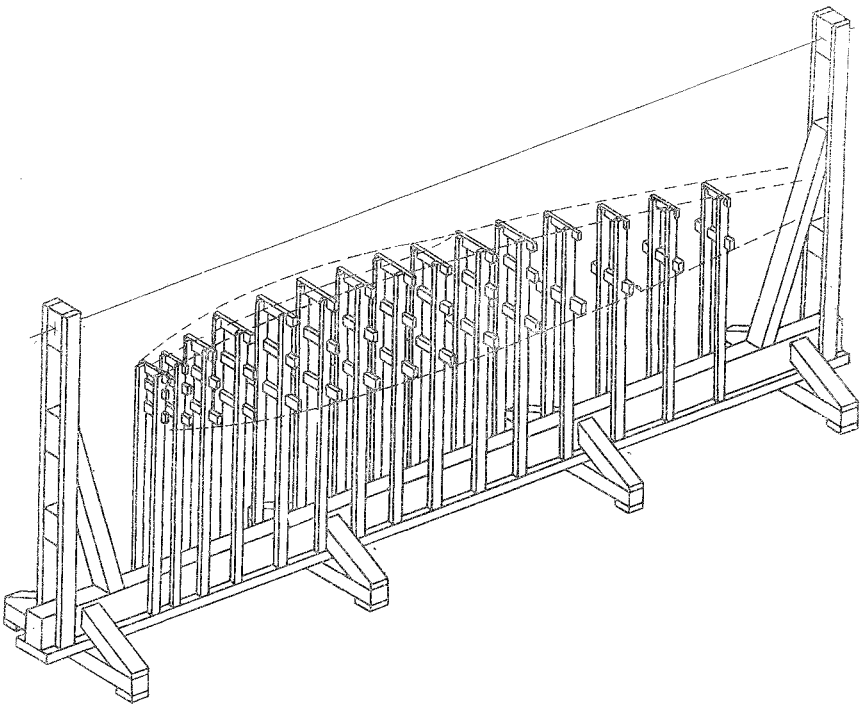
ustalacze okuć głównych i statecznika wysokości. Dla prototypu buduje się przyrządy jak najprostsze, drewniane (rys. 9-23).

Kadłuby o przekrojach wieloboków i owalnych są konstrukcjami wręgowymi. Wręgi połączone są podłużnicami, a całość pokryta sklejką.

Przyrząd umożliwia ustawienie w przestrzeni wręg. Przymocowuje się je do poszczególnych stojaków. Wręgi powinny mieć wytrasowane ołów-

kiem osie pionowe. Według nich pionuje się wręgi wykorzystując rozciągniętą strunę powyżej kadłuba.

Budowa seryjnych kadłubów wręgowych przeważnie składa się z dwóch operacji, gdyż nie jest możliwe pokrycie od razu całego obwodu po-



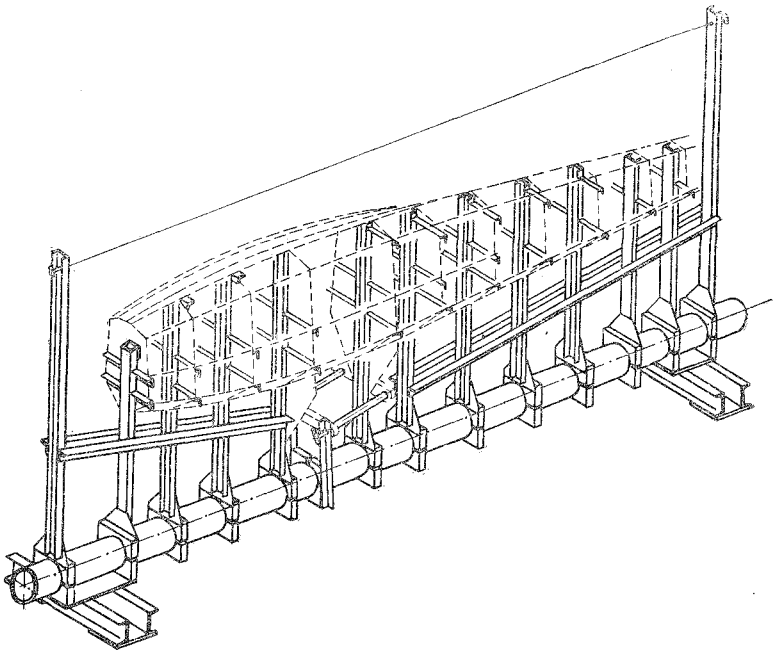
*Rys. 9-23. Przyrząd do budowy prototypu kadłuba*

kryciem sklejkowym. W pierwszej operacji doprowadza się jak najdalej krycie kadłuba, tak aby ściągnięta z przyrządu całość była wystarczająco powiązana i sztywna. Zaczyna się od budowy w pozycji odwróconej: deska kilowa znajdująca się na górze dobrze wiąże całość, na dole pozostaje pomiędzy stojakami wręg przyrządu wykrój kadłuba, w którym mieści się kabina pilota.

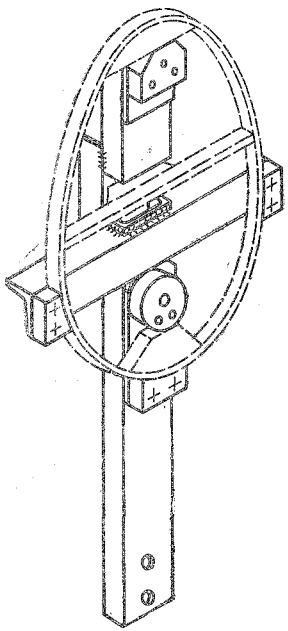
Przykład seryjnego przyrządu do zestawu kadłuba w pierwszej operacji pokazany jest na rysunku 9-24. Przyrząd zbudowany jest z typowych części. Należą do nich rura i obejmy żeliwne skręcane śrubami oraz stojaki. Przyrządy wyposażone są w stojaki, na których mocuje się wręgi. Przykład mocowania wręgi owalnej za pomocą mimośrodu podano na rysunku 9-25.

Niekiedy wydziela się w produkcji seryjnej zbudowanie podgrupy wykonawczej na oddzielnym stanowisku. Zwiększa to front robót i ułatwia wykonanie ze względu na lepszy dostęp. Przykład wydzielonego stanowiska podgrupy wykonawczej pokazano na rysunku 9-26. W pokazanym przyrządzie wręgi uchwycone są za okucia główne ustalaczami oraz za obwód typowymi uchwytami samonastawnymi. Tuleje ustalaczy i uchwyty znajdują się w masie zalewowej cementowo-gipsowej.

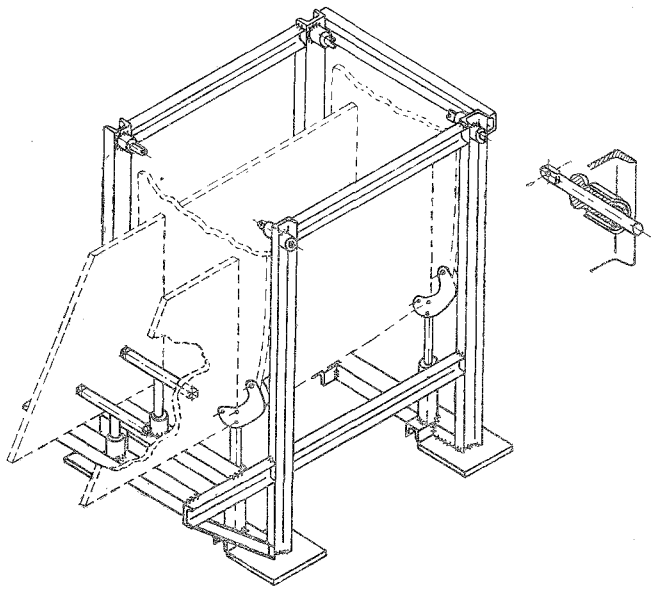
Kadłub budowany w pierwszej operacji w pozycji odwróconej nie ma



*Rys. 9-24. Przyrząd do seryjnej budowy kadłubów wielobocznych*

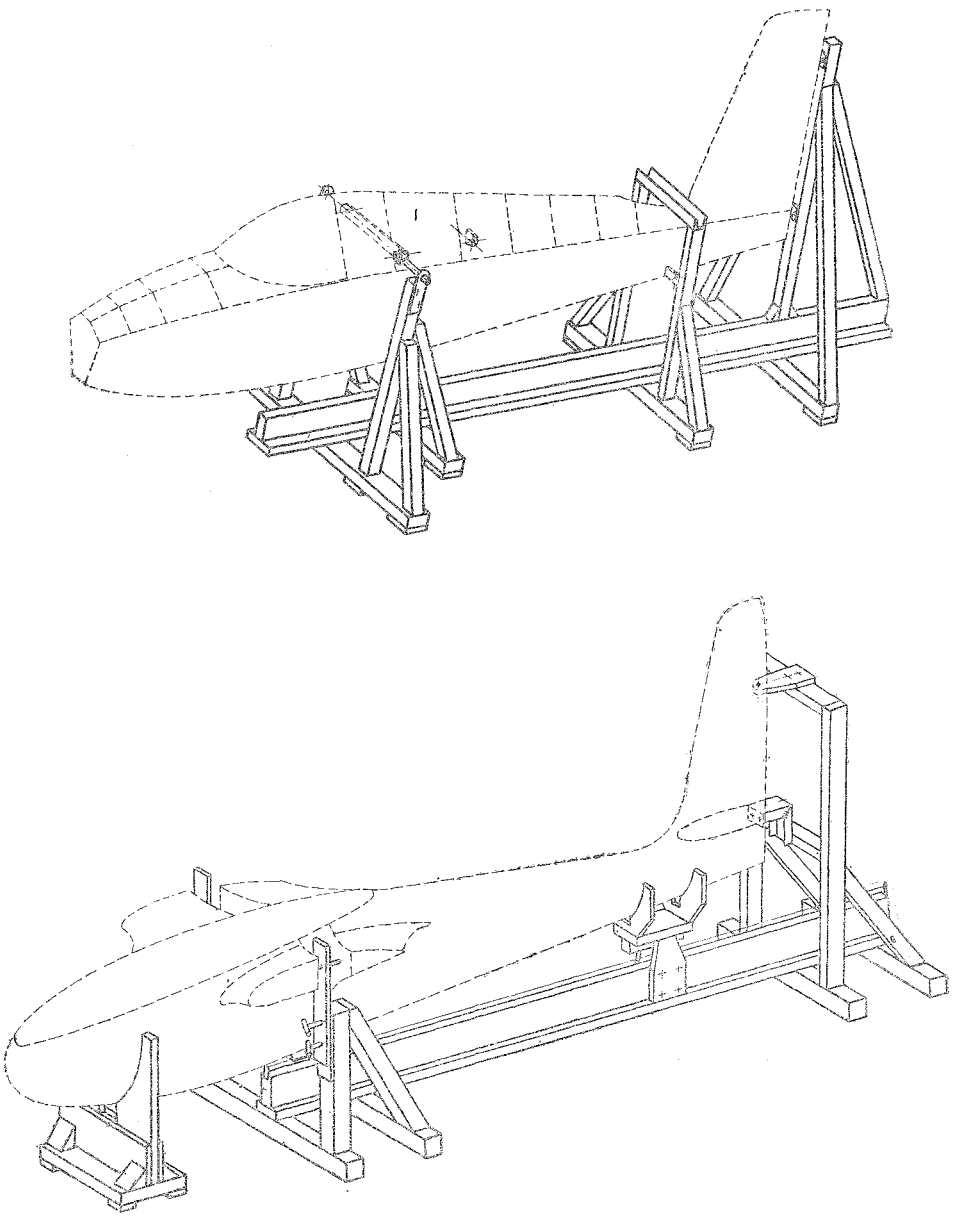


*Rys. 9-25. Przykład mocowania wręgi na stojaku przyrządu montażowego kadłuba*



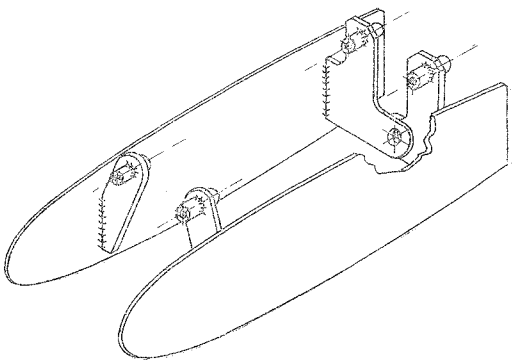
*Rys. 9-26. Wydzielone stanowisko budowy podgrupy wykonawczej kadłuba*

wmontowanego statecznika kierunku oraz ostatnich wręg. Należy to do operacji drugiej (rys. 9-27). Kadłub przechodzi na to stanowisko już częściowo pokryty sklejką, jest na tyle sztywny, że można uchwycić go jedynie za okucia nośne i podeprzeć obejmami. Głównym celem oprzyrządowania jest dokładne ustawienie statecznika kierunku względem okuć skrzydła. Statecznik uchwycony jest za okucia zawiasowe na dźwigarku. Całość przyrządu jest wykonana z drewna.



*Rys. 9-27. Przyrządy do wykonania drugiej operacji kadłuba*

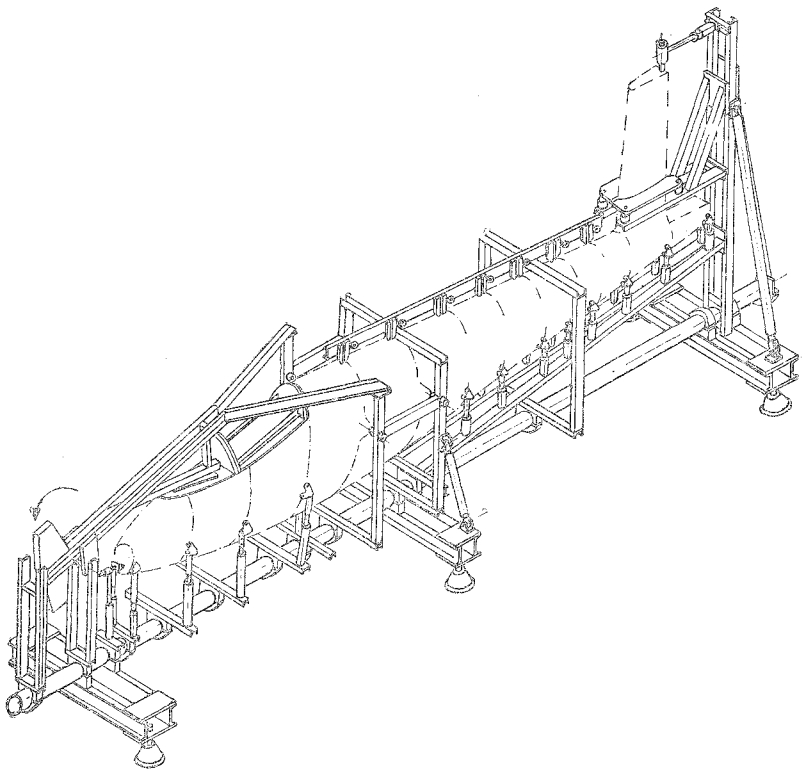
W kadłubie pokazanym narysunku 9-27 należy wkleić na pokryciu listwy profilowe w miejscu styku z lewym i prawym statecznikiem wysokości. W celu ułatwienia produkcji seryjnej miejsce to można specjalnie oprzyrządować. Na rysunku 9-28 widać przyrządy lewy i prawy dla tego fragmentu produkcyjnego.



*Rys. 9-28. Oprzyrządowanie przejścia kadłub-stateczniki wysokości*

Niekiedy przyjmuje się odwrotną kolejność budowy kadłuba. Najpierw zestawia się kadłub w pozycji lotu, a następnie okleja dół i wykańcza.

Przyrząd do produkcji seryjnej kadłuba w pozycji lotu pokazany jest na rysunku 9-29. Jest to przyrząd całkowicie metalowy zbudowany z ty-

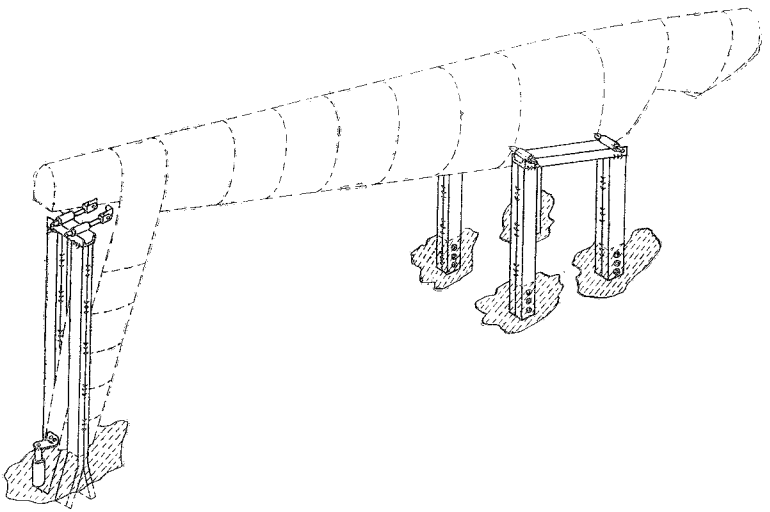


*Rys. 9-29. Przyrząd do seryjnej budowy kadłubów w pozycji lotu*

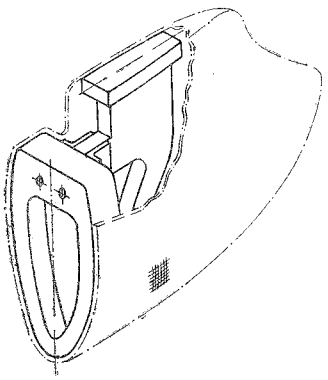
powych części, jak rury centralnej, podstaw ze stopami i obejm żeliwnych. Wręgi o krawędziach frezowanych na frezarko-kopiarce leżą w uchwytach samonastawnych. Do uchwycenia wręg w partii górnej służy grzebień dostawiany do przyrządu, wyposażony w zaciski z mimośrodami. Statecznik kierunku ustalony jest wzornikiem.

Przyrząd zapewnia również poprawne wykonanie wykroju kadłuba w miejscu kabiny pilota. System dźwigniowy konstrukcji z wzornikami wykroju umożliwia odłożenie w górę tej części przyrządu po jej wykorzystaniu.

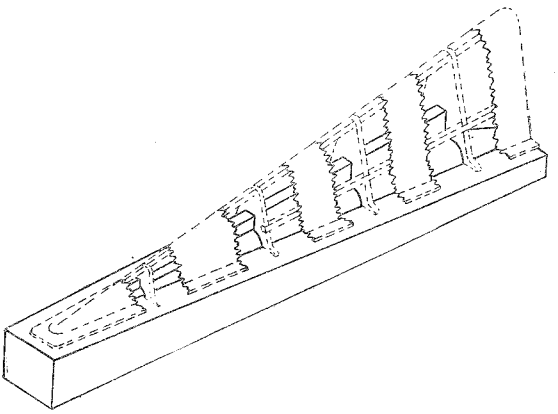
Przykład drugiego stanowiska kadłuba w pozycji odwróconej pokazany jest na rysunku 9-30. W omawianym przykładzie stojaki metalowe przyrządu zatopione są w podłodze.



*Rys. 9-30. Przyrząd do wykonania drugiej operacji kadłuba w pozycji odwróconej*



*Rys. 9-31. Przyrząd do klejenia kołpaka laminatowego*

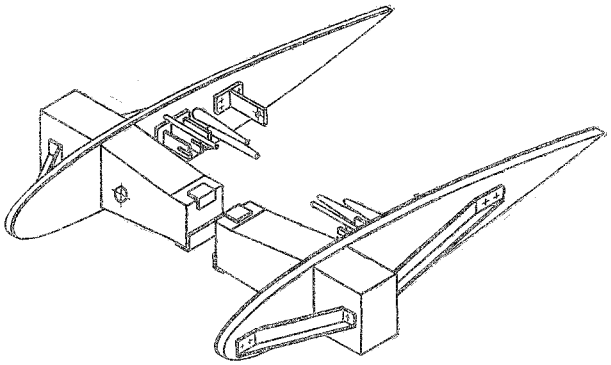


*Rys. 9-32. Przyrząd do zestawu lemiesza kadłuba*

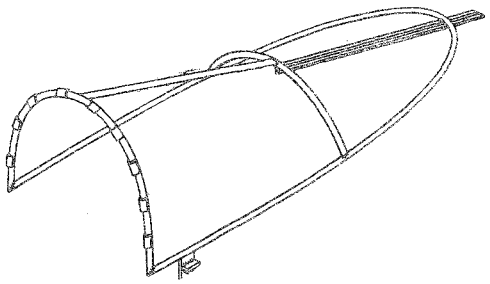
Przy produkcji kadłuba nieraz konieczne jest zbudowanie pomocniczego oprzyrządowania do podgrup wykonawczych. Dla przykładu na rysunku 9-31 pokazano przyrząd do klejenia kołpaka tylnego wykonanego

z laminatu, a na rysunku 9-32 — przyrząd do zestawu drewnianego szkieletu lemiesza z pokryciem laminatowym.

Stosuje się również przyrządy montażowe zastępujące indywidualne wyznaczanie miejsc na okucia. Przykładem może być przyrząd do usta-



*Rys. 9-33. Przyrząd montażowy konsoli dźwigni napędowych w kadłubie*



*Rys. 9-34. Przyrząd montażowy okucia osłony pilota na wręd̨ze kadłubowej*

wienia konsoli dźwigni napędowych na żebrze łączącym kadłub ze skrzydłem (rys. 9-33) lub przyrząd do ustawienia okucia z rolką, po której toczy się szyna osłony kabiny pilota (rys. 9-34).

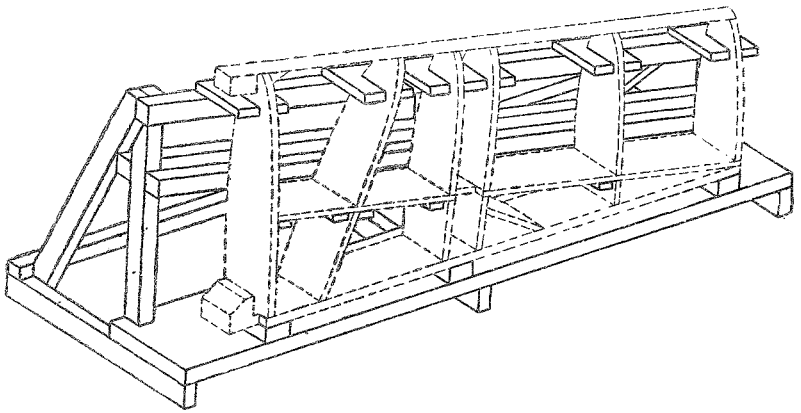
### 9.5. BUDOWA USTERZEŃ

Zarówno stateczniki, jak i stery szybowców mają dźwigarki, do których dostawia się żeberka, listwy natarcia i spływu. Szkielety statecznikǫ́w okleja się pokryciem sklejkowym, zaś szkielety sterów opłótnia się.

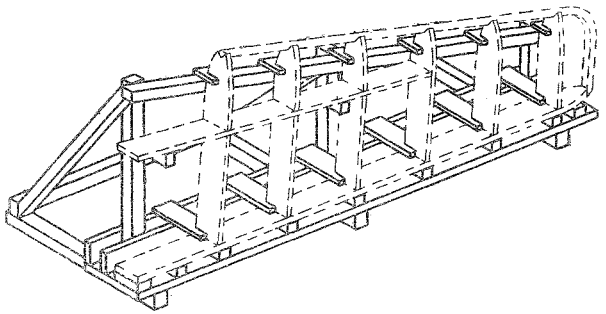
W produkcji stosuje się oprzyrządowanie, które ułatwia wykonywanie poszczególnych egzemplarzy.

Do budowy statecznikǫ́w kierunku przyjmuje się położenie pionowe w zestawieniu. Na rysunku 9-35 i 9-36 pokazano przyrządy drewniane statecznika kierunku. Na podstawie przyrządu leży dźwigarek statecznika, powyżej zaś znajdują się podpory dla dźwigarka pomocniczego. Dla żeber wykonane są ustalacze. Do krycia złożonych szkieletów stosuje się oddzielny przyrząd, jak na rysunku 9-37. Docisk wywiera się za pomocą gwoździkowania. Sklejka pokryciowa jest już wstępnie uformowana.

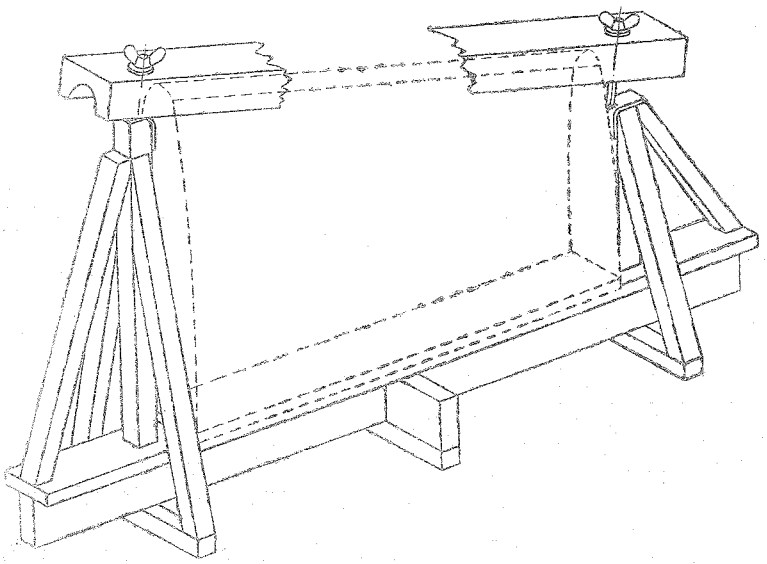
Przyrząd montażowy statecznika kierunku w wersji bardziej rozwiniętej pokazany jest na rysunku 9-38. Dźwigarek statecznika jest już okuty i za te okucia jest on uchwycony do podstawy przyrządu. Położenia po-



*Rys. 9-35. Przyrząd do zestawu statecznika kierunku szybowca szkolnego*

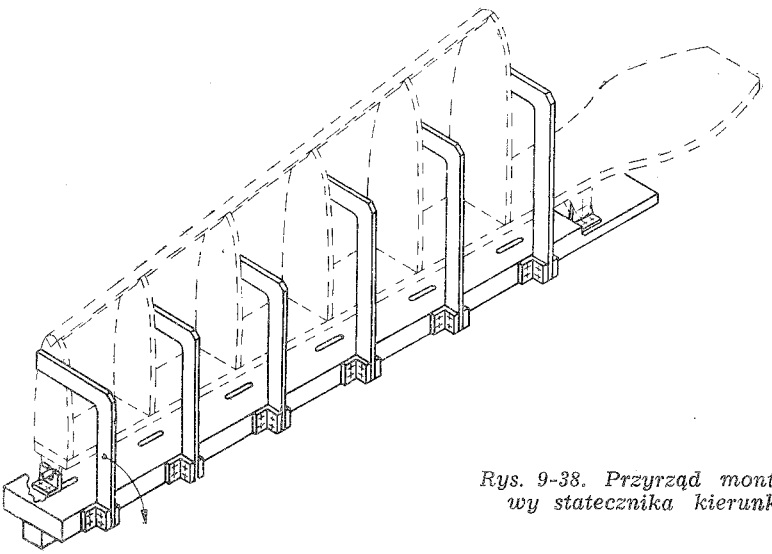


*Rys. 9-36. Przyrząd do zestawu statecznika kierunku szybowca treningowego*



*Rys. 9-37. Przyrząd do krycia sklejką statecznika kierunku*

szczególnych żeber wyznaczają ustalacze, które dają się odkładać obrotowo. Na tym samym przyrządzie następuje pokrywanie szkieletu sklejką. Do wywierania docisku mogą być użyte zaciski taśmowe opasujące pokrycie w miejscach żeber.



*Rys. 9-38. Przyrząd montażowy statecznika kierunku*

Przy grubościach pokryć powyżej 1,2 mm może okazać się niezbędne przygotowanie pokrycia sklejanego z dwóch warstw. Zaletą wstępnego uformowania pokrycia jest możliwość uzyskania małych promieni gięcia występujących w partii noskowej. Konstrukcyjnie pokrycie sklejane jest sztywniejsze. Wykonuje się je na foremnikach poziomych wywierając docisk metodą podciśnieniową.

Stery kierunku buduje się również w pozycji pionowej. W przypadku steru kierunku szybowca szkolnego, jak na rysunku 9-39, żeberka dostawia się do dźwigarka leżącego na podstawie przyrządu. Ster nie ma kesonu przedniego, jedynie żebra w postaci krzyżulców.

Seryjny przyrząd do zestawu steru kierunku w wersji metalowej pokazano na rysunku 9-40. Keson przedni steru wykonywany jest oddzielnie.

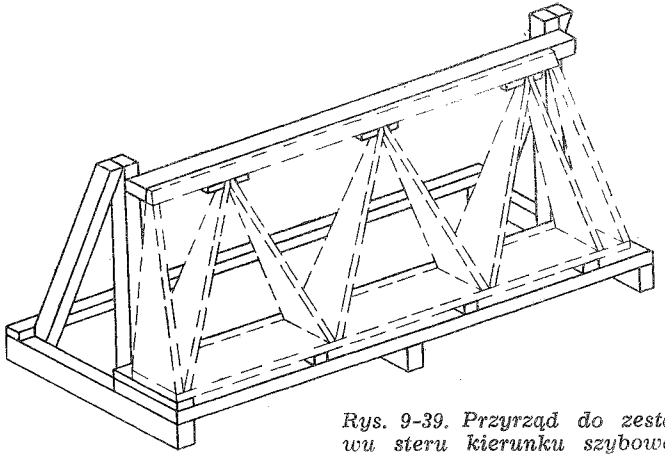
Na rysunkach 9-41 i 9-42 pokazane są przyrządy, w których zestawia się stery kierunku mające kesony przednie.

Przyrząd na rysunku 9-41 jest przyrządem prototypowym, który nie wyznacza położenia nosków i żeberek, ułatwia jedynie zestawienie całości.

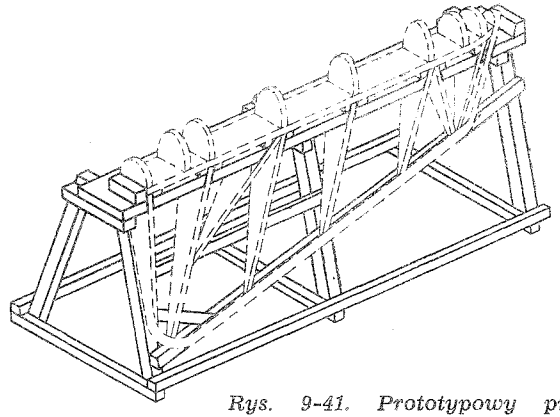
Przyrząd na rysunku 9-42 ma wycięcie w desce górnej na poszczególne żebra oraz ustalacze nosków. Do zestawu otrzymuje się już okuty dźwigarek.

Stateczniki wysokości można budować w położeniu pionowym lub poziomym. Na rysunkach 9-43 i 9-44 pokazano przyrządy do budowy statecznikow w pozycji pionowej. Przyrządy mają podstawę, na której leży dźwigarek, oraz ustalacze żeber. Położenie żeber kontroluje się za pomocą pionowania.

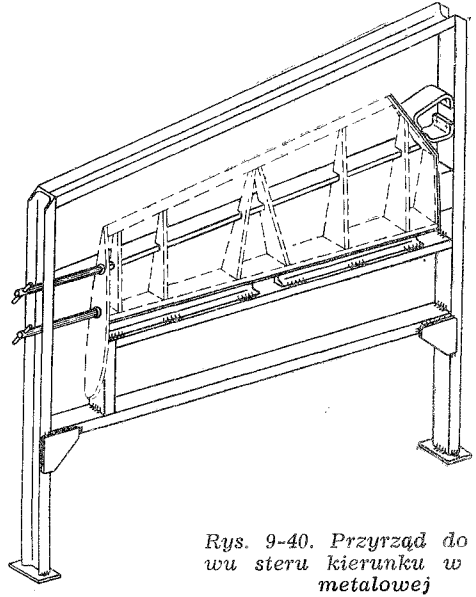
Na rysunku 9-45 pokazano przyrząd do zestawu statecznika wysokości w pozycji poziomej. Żebra układa się na wzornikach wykonanych z lignofolu. Na ramie metalowej przyrządu znajdują się uchwyty okuć zalane



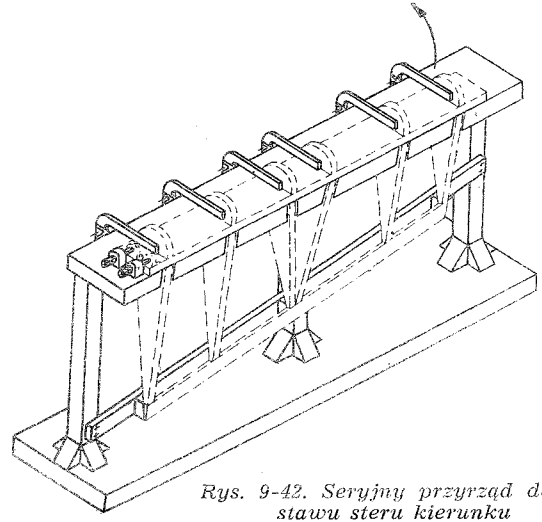
*Rys. 9-39. Przyrząd do zestawu steru kierunku szybowca szkolnego*



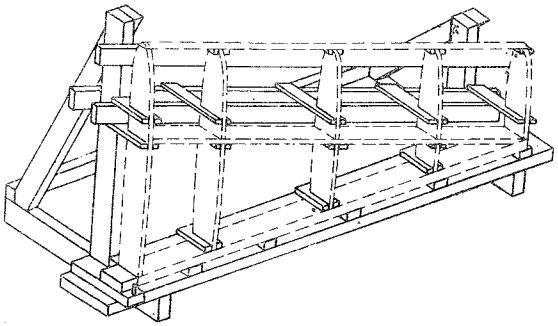
*Rys. 9-41. Prototypowy przyrząd do zestawu steru kierunku*



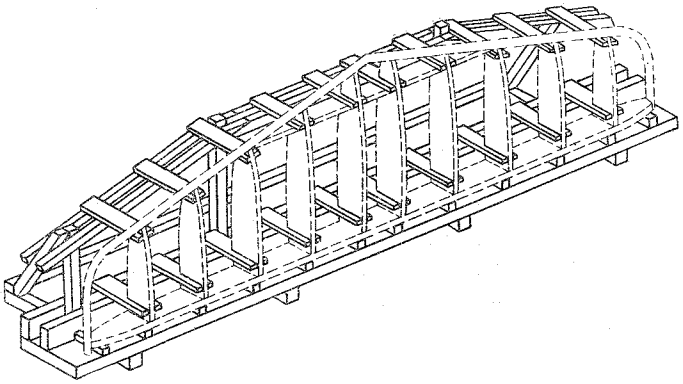
*Rys. 9-40. Przyrząd do zestawu steru kierunku w wersji metalowej*



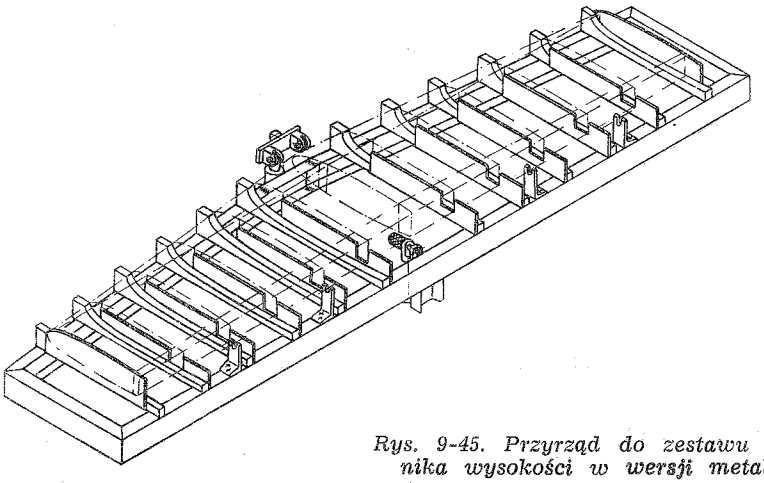
*Rys. 9-42. Seryjny przyrząd do zestawu steru kierunku*



*Rys. 9-43. Przyrząd do zestawu statecznika wysokości szybowca szkolnego*



*Rys. 9-44. Przyrząd do zestawu statecznika wysokości w wersji drewnianej*



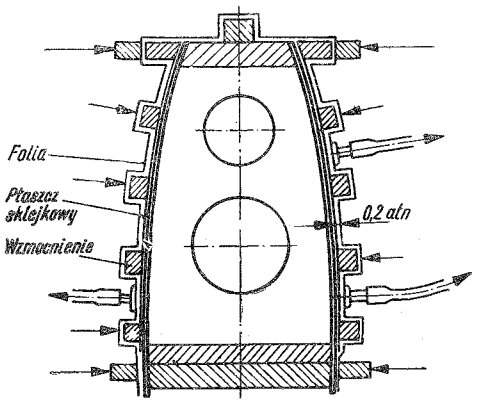
*Rys. 9-45. Przyrząd do zestawu statecznika wysokości w wersji metalowej*

masą zalewową cementowo-gipsową. Przyrząd jest dokładnie wystabilizowany.

Krycie szkieletów odbywa się metodą gwoździkowania lub metodą podciśnieniową (rys. 9-46).

Bezpośredni docisk na pokrycie w miejscu żeberka wywiera się płasz-

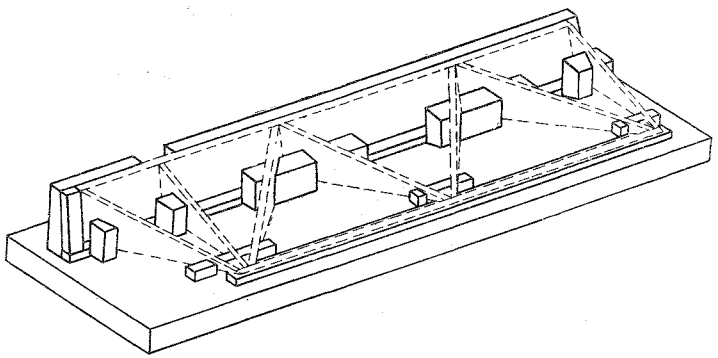
czem sklejkowym wzmocnionym kilkoma listwami sosnowymi na obwodzie. Płaszcz z wzmocnieniami przykrywa się folią i uszczelnia ją na całym obwodzie. Spod folii wypompowuje się powietrze do 0,2 atn. Należy zwrócić uwagę na bardzo istotny moment, a mianowicie ciśnienie musi być tak dobrane, aby folia nie dotykała całej płaszczyzny płaszcza sklejkowego, a jedynie wywierała docisk na listwy wzmacniające, a te z kolei na pokrycie sklejkowe poprzez płaszcz sklejkowy.




*Rys. 9-46. Schemat klejenia pokrycia metodą podciśnieniową*

Stery wysokości buduje się podobnie jak stateczniki. Na rysunku 9-47 pokazano przyrząd do budowy steru szybowca szkolnego. Nie ma on kesonu przedniego. Ster buduje się w pozycji poziomej

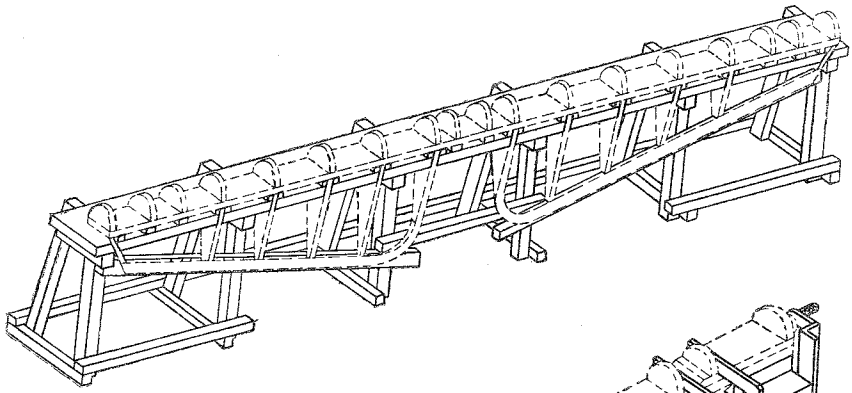
Budowę steru wysokości w pozycji pionowej pokazano na rysunku 9-48. Ster ten ma keson przedni kryty sklejką na przyrządzie. Cały przyrząd wykonany jest z drewna. Przy budowie seryjnej może być zastosowany podział fabrykacyjny steru, polegający na osobnym wykonaniu kesonu przedniego i późniejszym dostawieniu części tylnej za dźwigarkiem.



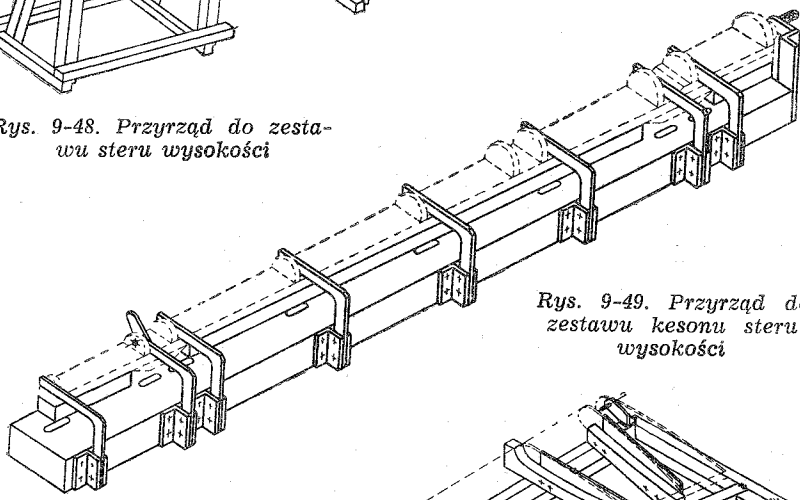
*Rys. 9-47. Przyrząd do zestawu steru wysokości szybowca szkolnego*

Przykład kompletu oprzyrządowania seryjnego z rozbiciem na keson i zestaw całości pokazany jest na rysunkach 9-49 i 9-50. Na przyrządzie pokazanym na rysunku 9-49 zestawia się dźwigarek z noskami i kryje sklejką pokryciową, zaś na przyrządzie pokazanym na rysunku 9-50 dobudowuje się do kesonu przedniego żebra i listwę spływu. Ster ma wykrój na klapkę wyważającą. Oba przyrządy wykonane są z metalu.

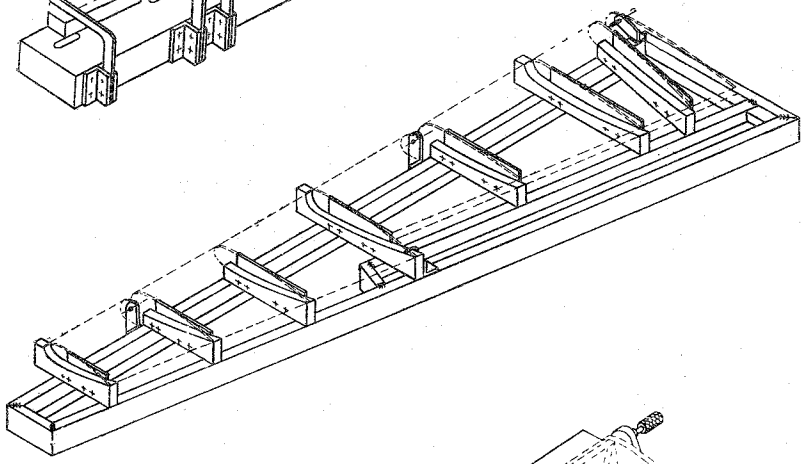
Na rysunku 9-51 pokazano przyrząd do zestawiania klapki wyważającej. Przyrząd ma ustalacze okuć klapki; wykonany jest z lignofolu.



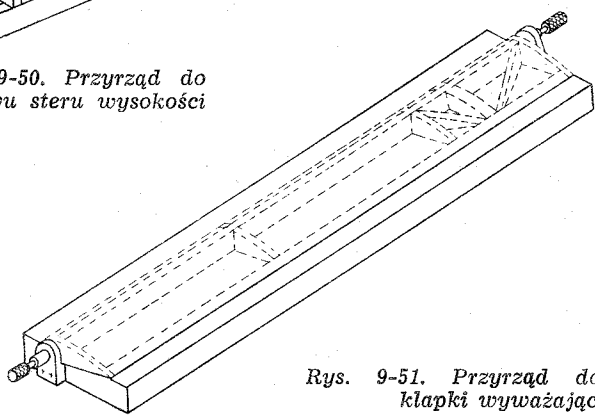
*Rys. 9-48. Przyrząd do zestawu steru wysokości*



*Rys. 9-49. Przyrząd do zestawu kesonu steru wysokości*



*Rys. 9-50. Przyrząd do zestawu steru wysokości*



*Rys. 9-51. Przyrząd do zestawu klapki wyważającej*

Rozdział 10

# WYKONYWANIE OSŁON ZE SZKŁA ORGANICZNEGO

Oszklenie kabiny pilota wykonuje się ze szkła organicznego. Płyty szkła organicznego produkowane są w wyspecjalizowanych wytwórniach przez polimeryzację metakrylanu metylu.

Polimeryzację, czyli łączenie drobin podstawowych (monomeru) ze sobą, prowadzi się w formach wykonanych z płyt ze szkła mineralnego. Napełniane formy mieszanką metakrylanu metylu i zmiękczacza utrzymuje się w termostacie w celu zachowania właściwej temperatury polimeryzacji. Po zakończonym procesie polimeryzacji formy studzi się i wyciąga z nich arkusze szkła organicznego. Arkusze te przechodzą jeszcze proces obróbki cieplnej w celu usunięcia naprężeń wewnętrznych.

Szkło organiczne ma dobre własności optyczne, wysoką odporność na działanie światła i wpływów atmosferycznych. W podwyższonych temperaturach polimetakrylan metylu ma własności termoplastyczne.

Wzrost własności termoplastycznych następuje stopniowo ze wzrostem temperatury. Formowanie wyrobów należy przeprowadzać w zakresie temperatur 100÷160°C zależnie od gatunku szkła. Temperatura powinna być określona przez producenta. W temperaturze powyżej 300°C szkło ulega zniszczeniu.

Szkło organiczne jest palne i bardzo wrażliwe na wszelkie zarysowania ze względu na swoją małą twardość. Skurcz cieplny wymiarów liniowych równy jest około 2,5%.

Arkusze szkła organicznego oklejane są fabrycznie papierem. Arkusze powinno się przycinać razem z papierem, aby nie uszkodzić powierzchni zewnętrznych. Przed nagrzewaniem arkusza do formowania papier należy zdjąć, pozostałość kleju zmyć ciepłą wodą bydlaną (3÷5% roztwór o temperaturze 40÷50°C) używając do tego miękkiej szmatki bawełnianej, którą należy również wysuszyć arkusz.

Arkusze ogrzewa się w piecu o wymuszonym obiegu powietrza, przy czym arkusz wiesza się pionowo na odpowiednich zaciskach. Czas ogrzewania arkusza zależy od jego grubości. Orientacyjnie czas wytrzymania arkuszy o grubości 2÷3 mm wynosi 10÷15 min, a arkuszy o grubości 4÷5 mm — 20÷25 min. Czas ten liczy się od chwili osiągnięcia w piecu żądanej temperatury po włożeniu arkusza.

Szkło organiczne można formować kilkoma sposobami: formowaniem w foremnikach zamkniętych, formowaniem metodą obciągania oraz formowaniem ciśnieniowym.

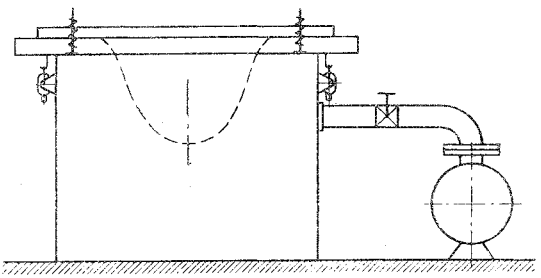
Najczęściej stosowanym sposobem jest metoda obciągania ręcznego. Arkusz szkła organicznego wzmacnia się zależnie od kształtu foremnika,

na którym ma się obciągać szkło odpowiednimi uchwytami, i tak nagrzewa się go w piecu. Nagrzane szkło wyjmuje się z pieca za pomocą rękawic flanelowych i po krótkim chłodzeniu powierzchni zewnętrznych nakłada się na foremnik przy jednoczesnym obciąganiu. Nieumiejętne obciąganie może spowodować wady optyczne uformowanej osłony w postaci zafalowań. Foremnik powinien być wykonany z dobrze wysuszonego drewna i wyłożony zamszem, aksamitem lub flanelą nie dającą odcisków na powierzchni szkła.

Metoda formowania ciśnieniowego może być realizowana za pomocą nadciśnienia lub podciśnienia. Częściej stosowana jest metoda podciśnienia ze względu na łatwość uszczelnienia urządzenia. Nagrzany w piecu arkusz szkła organicznego umieszcza się w postaci przepony nad komorą próżniową. Arkusz zamocowany jest na płycie formującej, która ma wykrój odpowiednio dobrany do kształtu formowanej powierzchni. Po ułożeniu płyty i zamocowaniu jej, włącza się pompę próżniową i zawór ssący. Po osiągnięciu żądanej głębokości należy utrzymywać nadal ciśnienie aż do ostygnięcia szkła. Ubytek grubości arkusza wskutek kształtowania jest praktycznie równomierny na całym obwodzie.

Schemat kształtowania próżniowego pokazano na rysunku 10-1.

Przy formowaniu ciśnieniowym otrzymuje się powierzchnie sferyczne.



*Rys. 10-1. Schemat kształtowania próżniowego*

Osłony ukształtowane poddaje się sezonowaniu przez wygrzewanie w temperaturze $80 \pm 5°C$ w czasie zależnym od grubości arkusza w celu usunięcia naprężeń wewnętrznych. Wygrzewanie przeprowadza się w suszarkach. Orientacyjnie szkło organiczne o grubości 3÷4 mm należy wygrzewać około 6 godzin, potem chłodzić stopniowo z suszarką w ciągu 4 godzin.

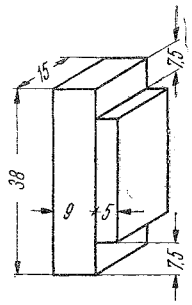
Ze względu na ograniczone wymiary arkuszy szkła organicznego niekiedy konieczne jest łączenie ich za pomocą kleju. Do klejenia używa się kleju dwuchloroetanowego. Jest to klej trujący. Przed klejeniem powierzchnie należy zukosować i dokładnie oczyścić czystą benzyną lub alkoholem metylowym. Długość skosu powinna wynosić 5 grubości arkusza sklejanego.

Klej sporządza się przez rozpuszczenie opiłków szkła organicznego w dwuchloroetanie (2÷5 gramów opiłków na 100 g dwuchloroetanu). Po wrzuceniu opiłki należy wymieszać i pozostawić do całkowitego rozpuszczenia się. Klej zdatny jest do klejenia po upływie 2÷3 dób, żywotność kleju wynosi około 1 miesiąca. Klej należy zabezpieczyć przed działaniem światła. Klejenie można przeprowadzać w pomieszczeniach o temperaturze nie mniejszej niż 5°C. Klej nanosi się pędzlem na obie powierzchnie sklejane. Nie wolno wywoływać pęcherzy powietrznych, gdyż będą one widoczne w spoinie klejowej.

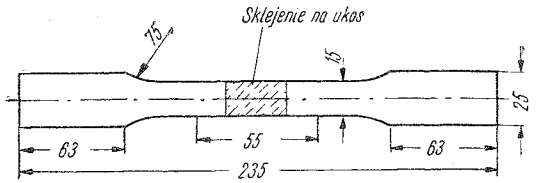
Po zachowaniu czasu przetrzymania w granicach do 2 min należy powierzchnie klejone docisnąć, realizując docisk rzędu 1,5 kG/cm$^2$. Czas do-

cisku wynosi nie mniej niż 4 godziny, a czas wytrzymania po zdjęciu docisku — nie mniej niż 24 godzin.

Klej powinien być badany na dwóch rodzajach próbek: na ścinanie i rozerwanie. Wielkości próbek podano na rysunkach 10-2 i 10-3. Wytrzymałość połączenia sklejanego powinna być nie mniejsza niż 120 kG/cm². Próbka rozrywana, klejona na ukos powinna zerwać się poza miejscem sklejanym.




*Rys. 10-2. Próbka na ścinanie kleju*




*Rys. 10-3. Próbka na rozrywanie*

Przy klejeniu ważne jest należycie szczelne oklejenie powierzchni przylegających do spoiny, tak aby nie nastąpiły wycieki kleju ani też nie atakowały powierzchni szkła wydzielające się opary kleju. Powierzchnie sąsiadujące najlepiej okleić taśmą klejącą, papierem lub specjalnie przygotowanym protektorem. Spoina klejowa jest nierówna na powierzchni. Należy ją cyklinować, szlifować na mokro papierem ściernym bardzo drobnym oraz polerować pastą do polerowania.

Szkło organiczne nadaje się do obróbki mechanicznej. Cięcie piłą taśmową należy przeprowadzać przy prędkości obwodowej równej 300÷÷500 m/min. Przy frezowaniu powinna być zachowana prędkość skrawania równa około 150 m/min i 1000 obr/min. Do wiercenia należy stosować wiertła o kącie wierzchołkowym 130÷140° i prędkość skrawania równą około 25 m/min oraz 2000÷3000 obr/min.

Ze względu na łatwość uszkodzenia powierzchni osłon ze szkła organicznego, należy w montażu oraz podczas magazynowania ochraniać ich powierzchnie specjalnie przygotowanym tzw. protektorem. Protektor należy sporządzić według następującej receptury:

— klej kazeinowy B 105 — 75 dkg
— woda — 1200 ml
— gliceryna destylowana — 400 ml

Odmierzoną ilość proszku kleju kazeinowego należy rozmieszać w wodzie w czasie około 30 min. Potem dodać glicerynę i znów mieszać. Żywotność tak przyrządzonego protektora wynosi 3—4 godzin. Protektor nanosi się na szkło organiczne ręką, tak aby nie porysować powierzchni ochranianych. Zaschnięty protektor jest łatwo zdzieralną folią. W celu łatwiejszego zdejmowania powłoki powinno się najpierw okleić krawędzie powierzchni ochranianej taśmą papierową, a następnie nanosić protektor. Przy zdejmowaniu wystarczy podważyć taśmę papierową, która tworzy sztywną krawędź zdzieralnej powłoki.

Osłony wykonane ze szkła organicznego mogą mieć wiele wad. Istnieją wady w samym tworzywie oraz wywołane procesem kształtowania. Wady

płyt szkła organicznego podają odpowiednie warunki techniczne. Do wad tych zalicza się:
— spękanie, czyli „srebro",
— odciski wad szkła krzemowego (formy),
— rysy,
— niedolewy,
— lejki,
— zanieczyszczenia mechaniczne,
— falistość widoczna pod zadanym kątem,
— pęcherze.

Wady występujące wskutek formowania, to:
— odciski foremnika,
— spękania, czyli tzw. „srebro",
— ospowatość,
— zniekształcenia optyczne,
— porysowania.

Odciski foremnika występują na powierzchni szkła organicznego wówczas, gdy jest ona za miękka, dlatego arkusz po wyjęciu z pieca należy schładzać powierzchniowo.

Pod wpływem szybkich zmian temperatury wywołuje się w szkle organicznym naprężenia wewnętrzne, które powodują powstawanie spękania, czyli drobnych rys powierzchniowych, tzw. „srebro". Spękanie może wystąpić również pod wpływem działania czynników chemicznych (pod wpływem rozpuszczalników). Naprężenia wewnętrzne w płytach szkła organicznego można stwierdzić przez zanurzenie wyciętej próbki we ftalanie dwubutylu. Po pewnym czasie na próbce występuje „srebro".

Szkło organiczne poddane działaniu naprężeń mechanicznych pęka na tej powierzchni, która podlega naciąganiu. Spękania układają się prostopadle do kierunku naprężeń.

„Srebro" można usunąć przez spawanie spękań gorącym powietrzem o temperaturze około 150°C.

Ospowatość występująca po nagrzaniu szkła organicznego jest wynikiem złego procesu technologicznego samej produkcji szkła i nie da się jej usunąć sposobem warsztatowym.

Podobnie wygląda sprawa pojawiających się zniekształceń optycznych („płynięcie") w czasie nagrzewania arkusza.

Drobne porysowania powierzchniowe usuwa się przez ręczne polerowanie. Polerowania mechanicznego nie należy stosować ze względu na możliwość powstawania nierówności. Polerowanie przeprowadza się odpowiednią pastą i zamszem lub czystą flanelą.

Rozdział 11

# PRACE WYKOŃCZENIOWE

## 11.1. OPŁÓTNIANIE

W konstrukcjach lotniczych poszycie płócienne stosuje się w skrzydłach i kadłubie, a najczęściej w lotkach i sterach.

Opłótnianie należy do prac tapicerskich i wymaga specjalnej wprawy, szczególnie w budowie szybowców, posiadających duże powierzchnie stosunkowo wiotkich szkieletów. Przy zbyt słabym naciągu pokrycie zapada się i powoduje dodatkowe straty aerodynamiczne szybowca w locie, jak również nie współpracuje należycie ze szkieletem obniżając wytrzymałość zespołu, nadmierny zaś naciąg powoduje odkształcenie się szkieletu.

Do opłótniania stosuje się materiały z włókien naturalnych pochodzenia roślinnego, jak tkaniny bawełniane lub lniane, które są odporne na działanie czynników atmosferycznych.

Najczęściej stosuje się tkaniny bawełniane merceryzowane, opalane dwustronnie, z przędzy bawełnianej nitkowanej, wysokogatunkowej, czesanej, o naturalnej barwie surowca. Niedozwolone jest nanoszenie jakichkolwiek środków apreterskich. Własności tych tkanin zestawiono w tablicy 11-1.

Tablica 11-1

**Własności tkanin bawełnianych**

| Nazwa tkaniny | | AM 93 | AM 100 |
|---|---|---|---|
| Wyróżnik oznaczenia klasyfikacyjnego | | TB 5401 | TB 5404 |
| Szerokość | [cm] | 105±2<br>142±2,5 | 137±2,5 |
| Ciężar | [g/m²] | 160±8 | 135±7 |
| Liczba nitek w 10 cm | | O 320±6 | O 320±6 |
| | | W 310±9 | W 310±9 |
| Wytrzymałość na rozerwanie | [kG/5 cm] | O 67—6 | O 60—6 |
| | | W 67—6 | W 62—6 |
| Wydłużenie przy rozerwaniu | | O 15±2 | O 15±2 |
| | | W 12±2 | W 12±2 |

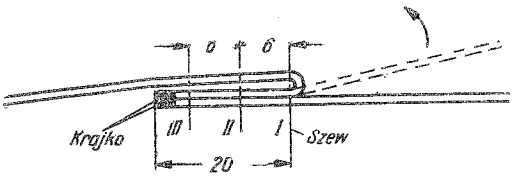
Badanie wytrzymałości na rozrywanie przeprowadza się w następujący sposób: z odcinka wyciętego z badanej sztuki w odległości co najmniej 3 m od jej końców należy wyciąć z miejsc dowolnie obranych, odległych od brzegów odcinka nie mniej niż 10 cm, trzy paski wzdłuż osnowy i cztery paski wzdłuż wątka, każdy o długości 250 mm i szerokości 60 mm. Z obu dłuższych boków pasków należy wypruć możliwie równe ilości skrajnych nitek, tak aby otrzymać pasek tkaniny o mniejszym boku równym 50 mm. Pasek tkaniny mocuje się w szczękach, przy czym nitki podłużne przebiegają wzdłuż. Wytrzymałość oblicza się oddzielnie w kierunku osnowy i oddzielnie w kierunku wątku.

Tkaniny należy przechowywać w pomieszczeniach suchych, przewiewnych i nienasłonecznionych. Tkanina powinna być ułożona na stojakach, tak aby nie przylegała bezpośrednio do ścian, przewodów grzejnych lub kanalizacyjnych.

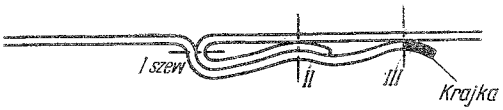
Przy układaniu wielowarstwowym zwoje należy układać równolegle w celu uniknięcia załamań i zgnieceń.

Przy wykrawaniu poszycia należy uważać, aby prawa strona tkaniny była na zewnątrz zespołu. Jest ona bardziej gładka i nie ma nierówności ani węzłów. Zależnie od wyposażenia warsztatu, tkaninę przykrawa się specjalnymi maszynami — krajarkami lub ręcznym nożem albo nożycami. Do zszywania tkanin należy stosować maszynę do szycia, wykonując potrójny szew i 40÷42 ściegów na 10 cm. Do tkaniny TB 5401 (AM-93) używa się nici szwalnych bawełnianych, krawieckich wyborowych W o nazwie WP 20/6, czes o wytrzymałości 2 100 G (gramów); do tkaniny TB 5404 (AM-100) — nici szwalnych o nazwie WP 30/6, czes o wytrzymałości 1580 G. Wymagania techniczne nici ujęte są normą PN-61/P-81007.

Jeżeli krawędzie tkanin łączonych są zakończone krajką, należy stosować połączenie na zakładkę z wewnętrznym szwem, jak na rysunku 11-1. Przy jednej krawędzi zakończonej krajką należy stosować połączenie na zakładkę, jak na rysunku 11-2. Przy dwóch krawędziach z obciętą




*Rys. 11-1. Połączenie tkanin z krajkami*



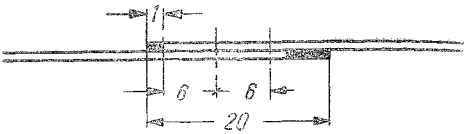

*Rys. 11-2. Połączenie tkanin z jedną krajką*

krajką — połączenie jak na rysunku 11-3. Natomiast przy tkaninach mających zupełnie proste krajki można zszywać tkaniny szwem na zakładkę, jak to pokazano na rysunku 11-4.

Po przygotowaniu tkaniny odpowiedniego wymiaru okleja się ją na szkielecie. Osnowa w tkaninie powinna być ułożona wzdłuż rozpiętości szkieletu.

Sam proces oklejania wygląda inaczej niż zwykle przy klejeniu, mianowicie suchą tkaninę kładzie się na uprzednio zastygnięty nitroklej na szkielecie i nawilża ją odpowiednim rozcieńczalnikiem. Rozcieńczalnik wciera się pędzlem o krótkim włosiu, a wystające włoski tkaniny przygniata się do powierzchni sklejkowej drewnianym klockiem.

*Rys. 11-3. Połączenie tkanin z obciętymi krajkami*




*Rys. 11-4. Połączenie tkanin z prostymi krajkami*

Nitroklej produkowany przez wytwórnię ma lepkość nadającą się do nakładania pędzlem; nie przewiduje się jego rozcieńczania. Należy bardzo starannie przechowywać klej, aby nie dopuścić do wyparowywania substancji lotnych, gdyż wówczas klej gęstnieje.

Schemat operacji opłótniania podano w tablicy 11-2.

Ważną czynnością opłótniania jest naciąganie tkaniny. Tkaninę należy naciągać jedynie wzdłuż rozpiętości szkieletu, a nie wzdłuż żeber, gdyż wówczas zatraca się wypukły kształt profilu aerodynamicznego w partiach międzyżebrowych, żebra wtedy znacznie wystają, a listwa spływu jest wciągana w kierunku dźwigarka, tworząc linię falistą. Opłótnianie należy przeprowadzać w pomieszczeniu o wilgotności względnej powietrza równej 40÷70% i temperaturze 15÷25°C. Po opłótnieniu powinno się sprawdzić naciąg tkaniny specjalnym przyrządem czujnikowym.

Klej po wyschnięciu wciąga tkaninę na krawędziach szkieletu. Dlatego kleju na szkielet nie należy nakładać do samego obrzeża, lecz pozostawić pasek nie pokryty klejem o szerokości około 10 mm. Ponieważ żeberka muszą być też przyklejone do tkaniny, a zazwyczaj są wąskie, 6÷10 mm, dobrze jest po całkowitym wyschnięciu kleju na żeberkach zukosować obie jego krawędzie. Wówczas klej nie wciąga tak bardzo tkaniny.

Po przyklejeniu tkaninę impregnuje się. Do impregnacji służy nitrocellon bezbarwny, który nadaje tkaninie skurcz, czyli napina ją, uszczelnia, podwyższa jej wytrzymałość oraz nadaje jej odporność na wilgoć. Nitrocellon bezbarwny przewidziany jest do nakładania pędzlem bez rozcieńczania i o takiej lepkości jest produkowany przez wytwórnię. Przy nakładaniu pędzlem uszczelnia dobrze pory tkaniny i powoduje przygładzanie włosków na powierzchni. Należy zwrócić uwagę, że główny składnik — celuloza — w miarę przechowywania traci swą lepkość, czyli staje się rzadsza. Gęstnienie więc nitrocellonu świadczy tylko o nieszczelnym opakowaniu wyrobu na warsztacie.

Schemat operacji impregnacji podano także w tablicy 11-2.

Nitrocellon powinien przejść na drugą stronę tkaniny, dlatego też pierwszą warstwę należy nakładać pędzlem szczególnie obficie. Po wyschnięciu tkanina napina się. Po wysuszeniu pierwszej warstwy nitrocellonu, zakleja się nim szwy maszynowe taśmą ząbkowaną i nakleja krążki odwadniające.

Naciąg tkaniny sprawdzony po raz pierwszy po opłótnieniu, sprawdza się drugi raz po impregnacji.

Tablica 11-2

**Schemat operacji oplótniania i cellonowania szkieletu**

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Zaokrąglić krawędzie, usunąć zacieki kleju, tłuste plamy. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 100÷150, zmywacz „tri" lub benzyna ekstrakcyjna | | | | |
| 2 | Trzykrotnie nakładać pędzlem warstwę nitrokleju na szkielet; suszyć po każdym nałożeniu kleju | Lakier nitrocelulozowy bezbarwny (Nitroklej) AK-20 Symbol wyrobu 50/00/120 | 240÷320 w stanie dostawy | — | 18 | 1÷2 |
| 3 | Szlifować na sucho, odpylić | Papier ścierny o ziarnie 120÷150 | | | | |
| 4 | Nałożyć tkaninę na miejsca polakierowane, nawilżyć rozcieńczalnikiem lub acetonem, włoski tkaniny dociskać do powierzchni klockiem drewnianym | Tkanina specjalna lotnicza TB 5401 lub TB 5404 Rozcieńczalnik nitro nr 646 Symbol wyrobu 58/00/64 | — | — | 18 | 2÷3 |
| 5 | 4 do 5× nakładać krzyżowo pędzlem nitrocellon na tkaninę | Nitrocellon podkładowy bezbarwny (AIH) Symbol wyrobu 50/00/123 | 400÷500 w stanie dostawy | — | 12÷35 | 1÷3 |
| 6 | Po każdej warstwie wyschniętego nitrocellonu szlifować na sucho. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 150÷200 | | | | |

Siła naciągu tkaniny wyraża się wartością 65÷70 kG/m, dlatego ważne jest zachowanie właściwej szerokości klejenia tkaniny z drewnem lub sklejką. Problem ten występuje najczęściej przy oplótnianiu skrzydeł, gdzie nie pokrywa się całej powierzchni kesonu przedniego. Jeżeli dokumentacja nie przewiduje inaczej, należy przewidzieć pas klejenia szerokości 50 mm.

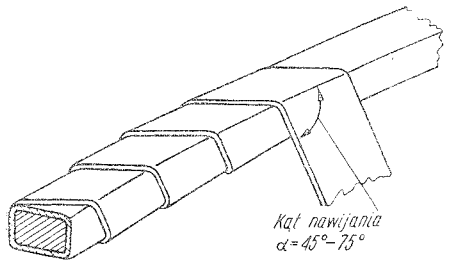
Jeżeli na żebrach jest zastosowany wklęsły profil aerodynamiczny lub konstruktorowi specjalnie zależy, tkaninę poszycia przyszywa się do szkieletu.

Do szycia ręcznego stosuje się nici szwalne lniane, konfekcyjne nr 25/3, o wytrzymałości na rozrywanie równej 5030 G, ujęte normą PN-61/P-81608. Do szycia maszynowego należy stosować gatunki nici podane przy omawianiu zszywania tkanin.

Tkanina poszycia powinna leżeć na żeberkach otaśmowanych. Zabezpiecza się ją wówczas przed wczesnym przetarciem. Do taśmowania żeber stosuje się dwa gatunki taśm bawełnianych — cienką metkalową, o szerokości 25 mm, oraz grubszą — kieprową, o szerokości 25 mm. Oba gatunki taśm produkuje przemysł pasmanteryjny w grupie taśm izolacyjnych ujętych normą RN-58/MPL-07085. Taśma metkalowa ma grubość 0,35 mm i minimalną wytrzymałość na rozrywanie 24 kG, a taśma kieprowa grubość 0,75 mm i minimalną wytrzymałość równą 45 kG.

Jeżeli taśmy nie przyszywa się bezpośrednio do tkaniny można stosować taśmę cieńszą. Przy przyszywaniu tkaniny do taśmy stosuje się taśmę grubszą.

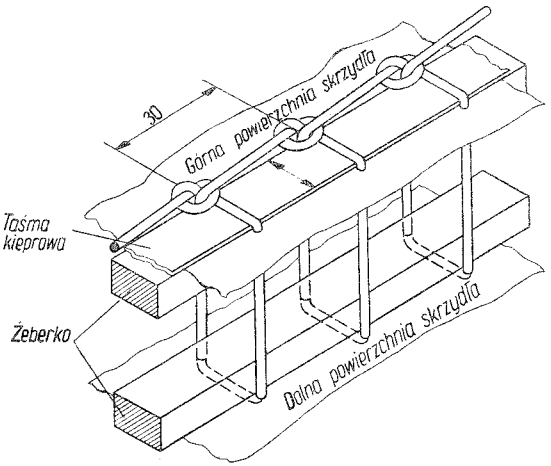
Taśmowanie zaczyna się od przyklejenia jednego końca taśmy do konstrukcji nitroklejem o symbolu 50/00/120 i owinięcia raz w koło, następnie owija się w ten sposób, aby zakrywać każdorazowo połowę szerokości taśmy przykrywanej. Prawidłowy kąt nawijania powinien wynosić 45—75° (rys. 11-5). Drugi koniec taśmy przykleja się również do konstrukcji.




*Rys. 11-5. Taśmowanie żebra*

Istnieje kilka sposobów przyszywania pokrycia z tkaniny do szkieletu. Sposób szycia zależy od obciążenia powierzchni oraz możliwości wykonawczych.

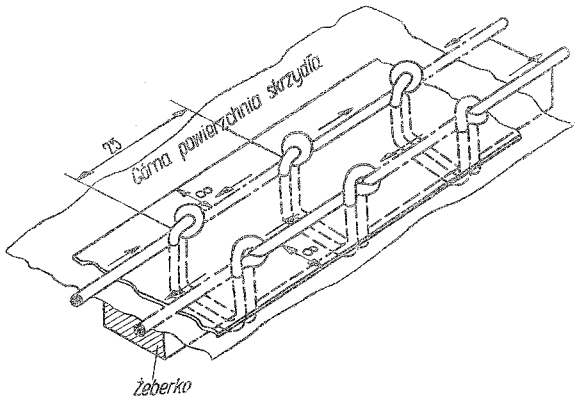
Najprostsze jest szycie na wylot sposobem ręcznym. Do szycia należy używać długiej, prostej igły. Nad pasami żeber nakłada się najpierw taśmę wzmacniającą na tkaninę pokryciową o szerokości równej szerokości żebra. Taśmę przymocowuje się tylko na jej końcach do pokrycia. Sposób szycia podano na rysunku 11-6.




*Rys. 11-6. Szycie na wylot*

W bardziej odpowiedzialnych zespołach przyszywa się tkaninę pokryciową oddzielnie do górnych i dolnych pasów żeber. Górne pokrycie, jako bardziej obciążone, wymaga zastosowania mocniejszego szycia. Jest nim

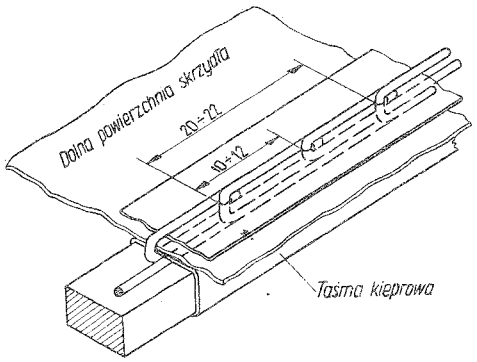
ręczne szycie naokoło pasa (rys. 11-7). Pod szew podkłada się taśmę wzmacniającą szerszą od szerokości żebra o 8 mm na każdą stronę, używając prostej igły. Szycie tym sposobem wymaga dostępu do obu stron tkaniny. Dlatego jest ono możliwe do wykonania tylko jednego pokrycia.




*Rys. 11-7. Szycie do pasa żebra*

Szycie ręczne można zastąpić szyciem maszynowym, które daje gładszy ścieg. Tkaninę pokryciową przyszywa się do taśmy, którą z kolei należy przyszyć do pasa żebra. Szycie maszynowe wymaga pierwotnego ułożenia tkaniny na szkielecie i wyznaczenia miejsc przebiegu taśmy.

Dolne pokrycie przyszywa się ręcznie, bezpośrednio do otaśmowanego żebra (rys. 11-8). Szycie tym sposobem wymaga stosowania igły półokrągłej lub zagiętej. Miejsce szycia wyłożone jest taśmą wzmacniającą o szerokości równej szerokości żebra. Szew kładzie się w osi symetrii żebra. Przy wykonywaniu szycia należy bacznie zwracać uwagę, aby nić biegnąca pod taśmą tworzyła pełny ścieg, gdyż nie da się tego sprawdzić wzrokowo.




*Rys. 11-8. Szycie do taśmy wzmacniającej*

## 11.2. MALOWANIE ZESPOŁÓW OPŁÓTNIONYCH

Po zaimpregnowaniu tkaniny należy najpóźniej po 24 godzinach przystąpić do nanoszenia następnych warstw lakierniczych.

Dotychczas stosuje się wyroby o spoiwie z nitrocelulozy lub poliwinylu. Zasadniczą wadą wyrobów nitrocelulozowych jest ich łatwopalność. Zarówno przy jednym rodzaju jak i drugim właściwa warstwa nawierzchniowa musi być przedzielona tzw. międzywarstwą aluminiową. Warstwa ta zabezpiecza tkaninę pocellonowaną przed niszczącym działaniem promieni nadfioletowych.

Schematy operacji malowania zespołów opłótnionych podano w tablicach 11-3 i 11-4.

Tablica 11-3

Schemat operacji malowania zespołów opłótnionych wyrobami nitrocelulozowymi

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Natrysnąć pistoletem jeden raz krzyżowo między warstwę nitro. Suszyć | Nitrocellon nawierzchniowy błyszczący aluminiowy<br>Symbol wyrobu 54/91/128 | 25÷35<br>80÷150<br>(w stanie dostawy) | 3÷3,5 | 18÷20 | 2 |
| 2 | Odpylić | | | | | |
| 3 | Natrysnąć 3× pistoletem warstwę nitrocellonu nawierzchniowego. Suszyć po każdym natryśnięciu | Nitrocellon nawierzchniowy błyszczący<br>Symbol wyrobu 54/xx/128 | 25÷35<br>80÷150<br>(w stanie dostawy) | 3÷3,5 | 18÷20 | I -2<br>II -2<br>III-2 |
| 4 | Odpylić | | | | | |
| 5 | Polerować na sucho szczotkami mechanicznymi | | | | | |

Tablica 11-4

Schemat operacji malowania zespołów opłótnionych wyrobami poliwinylowymi

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Natrysnąć pistoletem jeden raz krzyżowo międzywarstwę akrylową z dodatkiem pudru Al. Suszyć | Międzywarstwa akrylowa dla lotnictwa aluminiowa<br>Symbol wyrobu 49A/91/128 + 2% pudru alum. PAK-4 (ciężarowo) | 12÷26<br>13÷17<br>(w stanie dostawy) | 3÷3,5 | 18 | 2÷3 |
| 2 | Odpylić | | | | | |

Tablica 11-4 (cd.)

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Natrysnąć pistoletem jeden raz krzyżowo emalię poliwinylową z dodatkiem pudru Al. Suszyć | Emalia poliwinylowa dla lotnictwa. Symbol wyrobu 34/xx/125 +2% pudru alum. PAK-4 (ciężarowo) | 14÷18 25÷45 (w stanie dostawy) | 3÷3,5 | 18 | 2÷3 |
| 4 | Odpylić | | | | | |
| 5 | Natrysnąć pistoletem jeden raz krzyżowo emalię poliwinylową. Suszyć | Emalia poliwinylowa dla lotnictwa. Symbol wyrobu 34/xx/125 | 14÷18 25÷45 (w stanie dostawy) | 3÷3,5 | 18 | 3 |
| 6 | Odpylić | | | | | |
| 7 | Polerować pastą polerską, przecierać tamponem z naftą. Wytrzeć flanelą. | Pasta polerska żółta nr 4 | | | | |
| 8 | Przemyć | 3% roztwór wody obojętnego mydła potasowego | | | | |
| 9 | Przemyć czystą wodą, wytrzeć flanelą | | | | | |

Po upływie 24 godzin od naniesienia ostatniej warstwy należy sprawdzić stopień naciągu pomalowanego pokrycia. Przyrost ciężaru pokrycia wynosi około 160 kG/m². Pokrycie lakiernicze powoduje jednocześnie wzrost wytrzymałości tkaniny.

Do rozcieńczania wyrobów nitrocelulozowych należy stosować rozcieńczalnik o symbolu wyrobu 58/00/62, zaś do wyrobów poliwinylowych rozcieńczalnik o symbolu wyrobu 38/00/95.

### 11.3. MALOWANIE KONSTRUKCJI DREWNIANYCH

Do malowania konstrukcji szybowcowych drewnianych stosuje się wyroby nitrocelulozowe, a ostatnio poliwinylowe.

W czynnościach związanych z malowaniem drewna można wydzielić kilka etapów. Są to konserwacja i przygotowanie powierzchni pod względem czystości i gładkości, nałożenie międzywarstwy oraz nakładanie właściwego wyrobu zewnętrznego.

Pierwszy etap przygotowawczy jest bardzo żmudny i pracochłonny.

Przez kolejne uzupełnianie nierówności powierzchni kitem i szpachlówką oraz jej szlifowanie otrzymuje się gładką powierzchnię.

W obu rodzajach pokrycia końcowego (nitrocelulozowe lub poliwinylowe) stosuje się ten sam sposób przygotowania powierzchni kitem i szpachlówką nitrocelulozową.

Kity szpachlowe i szpachlówki natryskowe nitrocelulozowe stanowią zawiesinę pigmentów i wypełniaczy w roztworze nitrocelulozy i plastyfikatorów ewentualnie z dodatkiem żywic.

Kit szpachlowy jest to gęsta masa nadająca się do zacierania ręcznego wszystkich otworków po gwoździkowaniu przy klejeniu oraz wszelkich nierówności.

W celu uniknięcia stosowania oddzielnie dwóch wyrobów, można odpowiednio rozcieńczyć kit szpachlowy, aby otrzymać szpachlówkę. Należy pamiętać, że kit szpachlowy nitro można nakładać w warstwach nie grubszych niż 0,5 mm, a warstwa szpachlówki po wyschnięciu i zeszlifowaniu nie powinna być grubsza niż 0,2 mm, w przeciwnym przypadku pokrycie szybko pęka pod wpływem działania promieni słonecznych.

Rozcieńczoną szpachlówkę natryskuje się za pomocą pistoletu. Ostatnio kit szpachlowy nitro zastępuje się kitem szpachlowym epoksydowym. Odznacza się on doskonałą przyczepnością do podłoża, jest praktycznie bezskurczowy i może być nakładany w dowolnej grubości bez zjawiska wciągania i pękania oraz nie spływa z pionowych powierzchni. Ma jednak ujemną cechę, a mianowicie jest niezmywalny, poza tym jest nieco cięższy od szpachlówki nitro. Stąd też przy malowaniu konstrukcji szybowcowych drewnianych ma zastosowanie raczej tylko do zacierania otworków po gwoździkowaniu oraz do uzupełniania małych powierzchni.

Stosowanie kitu szpachlowego epoksydowego wymaga oddzielnego omówienia. Jest to wyrób dwuskładnikowy. Jednym ze składników jest kit zawierający (w częściach ciężarowych):

— Epidian 3 — 100 części,
— ftalan dwubutylu — 10÷12 części,
— alkohol benzylowy — 2÷5 części,
— proszek aluminiowy w płatkach — 40÷45 części.

Drugim składnikiem jest utwardzacz Z-1 (trójetylenoczteroamina TECZA), który dodaje się w ilości 8÷10 części, w stosunku do ciężaru kitu. Utwardzacz należy przechowywać w oddzielnych naczyniach. Oba składniki miesza się ze sobą dopiero przed przystąpieniem do szpachlowania. Okres żywotności kitu po zmieszaniu z utwardzaczem wynosi około 30 min. Po tym okresie następuje utwardzanie się masy i jest to proces nieodwracalny. W odróżnieniu od kitów nitro kit epoksydowy można kłaść na surowe drewno.

Obecnie wytwórnia produkuje gotowy kit szpachlowy epoksydowy pod nazwą pasta Epidian 410. Przed używaniem pasty należy do niej dodać utwardzacz Z-1 w ilości 6÷8 części na 100 części ciężarowych kitu. Udział ciężarowy utwardzacza jest ściśle określony. Przy zbyt małej ilości pasta się nie utwardzi, zaś przy nadmiarze utwardzacza powstaje brak przyczepności następnych warstw lakierniczych.

Do konserwacji drewna używa się podkładu nitro. W celu ułatwienia kontroli miejsc zakonserwowanych, stosuje się podkład barwiony. Ze względu na możliwość migracji pigmentu czerwonego do następnych warstw, nie stosuje się podkładu o tej barwie.

Drugim etapem jest nakładanie międzywarstwy, która służy do lepszego związania warstwy nawierzchniowej z podłożem oraz zabezpiecze-

Schemat operacji malowania konstrukcji drewnianej wyrobami nitrocelulozowymi

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Usunąć zadry, zaokrąglić krawędzie, usunąć zacieki kleju, tłuste plamy. Odpylić. | Papier ścierny o ziarnie 80÷100, zmywacz „tri" lub benzyna ekstrakcyjna | | | | |
| 2 | Szpachlować ręcznie kitem szpachlowym. Suszyć | Kit szpachlowy epoksydowy Epidian 410, utwardzacz Z-1 | — | — | 18÷20 | 24 |
| 3 | Szlifować na sucho, odpylić | Papier ścierny o ziarnie 80÷100 | | | | |
| 4 | Natrysnąć 2× krzyżowo pistoletem podkład. Suszyć | Podkład nitrocelulozowy żółty jasny DD113. Symbol wyrobu 51/02/80 | 22÷25 120÷200 (w stanie dostawy) | 3,5 | 18÷20 | 1,5 |
| 5 | Szlifować na sucho, odpylić | Papier ścierny o ziarnie 100÷150 | | | | |
| 6 | Natrysnąć 1× pistoletem warstwę rozcieńczonego kitu szpachlowego. Suszyć | Kit szpachlowy żółty jasny ASz-32. Symbol wyrobu 59/02/93. Rozcienczalnik nitro. Symbol wyrobu 58/00/64 | 90 | 4,5 | 18÷20 | 12 |
| 7 | Szlifować na sucho. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 120÷150 | | | | |
| 8 | Szpachlować 2—3× ręcznie kitem szpachlowym. Suszyć | Kit szpachlowy żółty jasny ASz-32. Symbol wyrobu 59/02/93 | — | — | 18÷20 | 24 |
| 9 | Szlifować na sucho po każdym szpachlowaniu. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 120÷150 | | | | |
| 10 | Natrysnąć 1× pistoletem warstwę rozcieńczonego kitu szpachlowego. Suszyć | Kit szpachlowy żółty jasny ASz-32. Symbol wyrobu 59/02/93. Rozcieńczalnik nitro. Symbol 58/00/64 | 90 | 4,5 | 18÷20 | 12 |

Tablica 11-5 (c.d.)

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 11 | Szlifować na mokro z dodatkiem mydła. Przemywać wodą. Suszyć | Papier ścierny wodoodporny o ziarnie 200<br>Mydło zwykłe | | | 18 ÷ 20 | 12 |
| 12 | Natrysnąć pistoletem jeden raz krzyżowo międzywarstwę nitro. Suszyć | Nitrocellon nawierzchniowy błyszczący aluminiowy<br>Symbol wyrobu 54/91/128 | 25 ÷ 35<br>80 ÷ 150<br>(w stanie dostawy) | 3 ÷ 3,5 | 18 ÷ 20 | 4 |
| 13 | Odpylić | | | | | |
| 14 | Natrysnąć 4× pistoletem krzyżowo. Suszyć | Emalia nitrocelulozowa<br>Symbol wyrobu 54/xx/125 | 25 ÷ 35<br>80 ÷ 150<br>(w stanie dostawy) | 3 ÷ 3,5 | 18 ÷ 20 | I-1<br>II-1,5<br>III-1,5<br>IV-2 |
| 15 | Szlifować na mokro z dodatkiem mydła | Papier ścierny o ziarnie 320. Mydło zwykłe | | | 18 ÷ 20 | 12 |
| 16 | Odpylić | | | | | |
| 17 | Polerować na gotowo, usunąć smugi pozostałe po paście płynem do polerowania | Pasta do szlifowania emalii nitrocelulozowych<br>Symbol wyrobu 59/xx/26<br>Płyn do polerowania<br>Symbol wyrobu 59/xx/67 | | | | |

nia warstw podłoża przed niszczącym działaniem promieni nadfioletowych. W zależności od rodzaju warstwy nawierzchniowej (nitro lub poliwinylowa) stosuje się jako międzywarstwę nitrocellon aluminiowy lub międzywarstwę akrylową z dodatkiem 2% pudru aluminiowego PAK-4.

Trzecim etapem jest nakładanie warstwy nawierzchniowej, która nadaje powierzchni żądaną barwę, gładkość i odporność na wpływy atmosferyczne. Stosuje się emalie nitro lub poliwinylowe. Emalie nitro powstają przez dodanie pigmentów do lakierów nitro. Są one mniej elastyczne i bardziej twarde od lakierów. Emalie poliwinylowe są bardziej odporne na działanie wody i czynników chemicznych, niepalne i odporne na pleśń.

Schemat operacji malowania konstrukcji drewnianej wyrobami nitrocelulozowymi podano w tablicy 11-5.

Schemat malowania wyrobami poliwinylowymi wygląda zupełnie podobnie, z tym że trzeba uwzględnić omówioną powyżej międzywarstwę

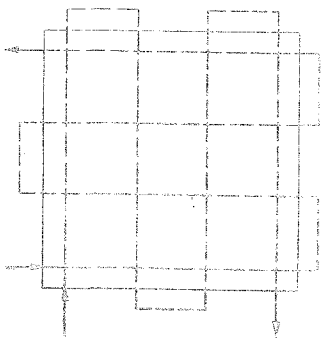
i emalię. Nazwy obu materiałów zostały podane w tablicy 11-6. Rozpuszczalniki do wyrobów nitro i poliwinylowych zostały podane przy omawianiu malowania zespołów opłótnionych.

Przy specjalnym wykończeniu powierzchni szybowca stosuje się szlifowanie na mokro ostatniej warstwy emalii przed jej polerowaniem.

Końcową czynnością malowania konstrukcji drewnianych jest polerowanie. Jest to żmudna praca, zwłaszcza gdy nie dysponuje się polerkami mechanicznymi.

Ważną czynnością przy pracach malarskich jest rozcieńczanie materiału lakierniczego do właściwej lepkości roboczej. Rozcieńczony materiał powinien być zawsze przefiltrowany przez sita o 5000÷10 000 oczek/cm². Zawartość pojemnika należy co pewien czas mieszać. Podczas natrysku pistolet należy utrzymywać w odległości 20÷25 cm od powierzchni obrabianej i prowadzić go prostopadle.

Przy natrysku stosuje się tzw. natrysk krzyżowy. Malowanie krzyżowe jest to sposób naniesienia powłok lakierowych za pomocą pistoletu natryskowego lub pędzla, w którym każdą następną serię pociągnięć wykonuje się pod kątem prostym do poprzedniego. Schemat natrysku krzyżowego podano na rysunku 11-9.



*Rys. 11-9. Schemat natrysku krzyżowego*

Stare pokrycie usuwa się przez zmywanie. Zmywacz do wyrobów nitro o symbolu wyrobu 58/00/30 nanosi się za pomocą pędzla na powłokę i pozostawia dopóki powłoka nie zmięknie. Zamiast zmywacza można używać również rozcieńczalnika nitro lub acetonu. Aby zapobiec szybkiemu odparowywaniu, dobrze jest powierzchnię zmywaną nakryć szmatami lub płótnem. Po zmiękczeniu powłoki ściąga się ją szpachlą. Do zmywania powłok poliwinylowych służy rozcieńczalnik o symbolu 33/00/85.

Wnętrza konstrukcji drewnianej maluje się często za pomocą wyrobów dekoracyjnych. Ze względu na podłoże drewniane muszą to być wyroby schnące w powietrzu. Z istniejących — dwa wyroby mogą znaleźć zastosowanie: lakier nitrocelulozowy dający efekt młotkowania lub emalia nitrocelulozowa pękająca.

Schemat operacji malowania wyrobami nitromłotkowymi podano w tablicy 11-6. Przed użyciem lakier należy dokładnie wymieszać sposobem ręcznym. Nie wolno mieszać go mechanicznie, gdyż może zatracić swe własności ozdobne. Po natryśnięciu lakieru należy odczekać pewien czas w celu uzyskania odpowiedniego wzoru. Efekt wzoru zależy od grubości nałożenia warstwy lakieru oraz od lepkości roboczej wyrobu.

Drugi rodzaj wyrobu dekoracyjnego to emalie nitrocelulozowe pękające produkowane na bazie spoiwa nitrocelulozowego bez dodatku żywic. Są one wysoce pigmentowane, należy je przeto dokładnie wymieszać przed użyciem. Emalie nitropękające mają taką własność, że po nałożeniu na podkład emalii nitrocelulozowej w ciągu kilku sekund pękają tworząc wzór przypominający skórkę węża. W zależności od barwy podkładu i emalii wierzchniej pękającej można otrzymać najróżniejsze wzory. Na zupełnie mokrą emalię podkładową natryskuje się emalię nitropękającą.

Tablica II-6

Schemat operacji malowania dekoracyjnego konstrukcji laminatowo-drewnianej wyrobami nitromłotkowymi

| Lp. | Nazwa operacji | Materiał | Lepkość wg kubka Forda nr 4 [sek] | Ciśnienie [at] | Temperatura suszenia [°C] | Czas suszenia [h] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Usunąć zadry, zaokrąglić krawędzie, usunąć zacieki kleju, tłuste plamy, szlifować papierem ściernym. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 80÷100, zmywacz „tri" lub benzyna ekstrakcyjna | | | | |
| 2 | Szpachlować ręcznie kitem szpachlowym. Suszyć | Kit szpachlowy epoksydowy Epidian 410, utwardzacz Z-1 | — | — | 18÷20 | 24 |
| 3 | Szlifować na sucho. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 100÷150 | | | | |
| 4 | Natrysnąć 1× pistoletem podkład na pokrycie drewniane. Suszyć | Podkład nitrocelulozowy żółty jasny DD113. Symbol wyrobu 51/02/80 | 22÷25 (120÷200 w stanie dostawy) | 3,5 | 18÷20 | 1,5 |
| 5 | Szlifować na sucho. Odpylić | Papier ścierny o ziarnie 100÷150 | | | | |
| 6 | Natrysnąć 1× pistoletem lakier młotkowy. Suszyć | Lakier nitrocelulozowy młotkowy. Symbol wyrobu 50/xx/70 | 60÷70 (70—100 w stanie dostawy) | 3÷3,5 | 18÷20 | 2 |

Po wyschnięciu powierzchnię pomalowaną natryskuje się jeszcze lakierem bezbarwnym nitro, gdyż powłoka pękająca jest małotrwała i nieszczelna.

### 11.4. BADANIE WYROBÓW LAKIEROWYCH

W zakresie badań wyrobów lakierowych należy rozróżnić zagadnienie badania omawianych wyrobów w stanie ciekłym, czyli takim, w jakim znajdują się przed nanoszeniem na powierzchnię, oraz badanie gotowych powłok.

Większość badań ujęta jest w normach państwowych lub branżowych. Bardzo ważnym czynnikiem przy badaniach jest właściwe przygotowanie próbki. Próbki ciekłych materiałów malarskich przygotowuje się według normy PN-53/C-81500, płytki do badań powłok lakierowych według normy PN-53/C-81513, zaś powłoki do badań — według normy PN-53/C-81514.

Do badań wyrobów w stanie ciekłym zalicza się:

— badania wstępne (na kożuszenie, na osad, na zgalarecenie, na niejednolitość barwy, na roztarcie wyrobów pigmentowanych, na obecność zanieczyszczeń mechanicznych), według PN-53/C-81503,
— oznaczanie pozostałości na sicie, według PN-53/C-81505,
— badanie rozlewności, według PN-53/C-81507,
— oznaczanie lepkości, według PN-64/C-81508,
— oznaczanie zawartości składników materiału malarskiego, według PN-57/C-81512,
— badanie przydatności do malowania pędzlem,
— badanie przydatności do natryskiwania.

Najbardziej charakterystycznym badaniem jest tu oznaczanie lepkości, gdyż cecha ta wiąże się ściśle z rodzajem nanoszenia wyrobu na podłoże.

Do oznaczenia lepkości stosuje się kubek wypływowy Forda o pojemności 100 ± 1 ml i średnicy otworu 4 ± 0,015 mm. Oznaczenie polega na zmierzeniu czasu wypływu badanego wyrobu lakierniczego. Kubek zatyka się palcem, napełnia aż do przelania i otwiera otwór wraz z uruchomieniem sekundomierza. Pomiar kończy się z chwilą przerwania się wypływającego strumienia. Lepkość podaje się w sekundach. Oprócz kubków Forda stosuje się również kubki Frenkla do określania lepkości wyrobów lakierowych. Przeliczenie lepkości określanej kubkiem Frenkla na lepkość Forda podano w tablicy 11-7.

Tablica 11-7

**Przeliczenie lepkości określonej kubkiem Frenkla na lepkość według Forda**

| Lepkość wg Frenkla ∅ 35 | Lepkość wg Forda ∅ 4 | Lepkość wg Frenkla ∅ 35 | Lepkość wg Forda ∅ 4 |
|---|---|---|---|
| 3,5 | 18 | 15 | 95 |
| 4 | 22 | 16 | 102 |
| 5 | 29 | 17 | 109 |
| 6 | 36 | 18 | 117 |
| 7 | 42 | 19 | 124 |
| 8 | 49 | 20 | 131 |
| 9 | 56 | 21 | 141 |
| 10 | 62 | 22 | 150 |
| 11 | 69 | 23 | 160 |
| 12 | 75 | 24 | 169 |
| 13 | 82 | 25 | 179 |
| 14 | 88 | 30 | 218 |
| | | 40 | 289 |
| | | 50 | 353 |
| | | 70 | 470 |
| | | 100 | 647 |

Wyroby przeznaczone do malowania za pomocą pędzla poddaje się próbie na rozlewność. Można ją połączyć z badaniem czasu schnięcia. Rozróżnia się trzy stopnie rozlewności, zależne od czasu znikania śladów po nanoszeniu pędzlem.

Badanie przydatności do malowania pędzlem i natryskiem polega na ocenie nałożonych powłok na próbkach, przy ustalonych parametrach technologicznych (lepkość, ciśnienie powietrza w pistolecie, odległość pistoletu). Po naniesieniu nie mogą tworzyć się zacieki, materiał malarski powinien dać gładką powierzchnię.

Do badań gotowych powłok zalicza się trzy grupy:

a) badanie zdolności krycia, według PN-54/C-81536,
— badanie czasu schnięcia, według PN-53/C-81519,
— określanie grubości, według PN-59/C-81515;

b) badanie twardości, według PN-53/C-81530,
— badanie odporności na rysowanie, według PN-65/C-81527,
— badanie elastyczności, według PN-53/C-81528,
— badanie elastoprzyczepności, według PN-59/C-81529,
— badanie przyczepności, według PN-53/C-81531,
— oznaczenie porowatości, według PN-59/C-81518,
— badanie odporności na ścieranie, według PN-59/C-81516,
— oznaczenie szlifowalności i zmatowienia, według BN-64/6110-07,
— badanie wytrzymałości na uderzenie, według PN-54/C-81526,
— badanie powłok na napiętych tkaninach, według BN-64/6110-08,

c) badanie odporności na zmienną temperaturę, według BN-66/6110-15,
— badanie odporności na działanie światła,
— badanie odporności na działanie wody, według PN-53/C-81521,
— badanie odporności na działanie wody morskiej, według BN-64/6110-02,
— badanie odporności na działanie mgły solnej, według PN-61/C-81523,
— badanie odporności na działanie benzyny, według BN-64/6115-20,
— badanie odporności na działanie olejów, według BN-64/6115-20.

Należy zauważyć, że pierwsza grupa (*a*) badań dotyczy własności technologicznych powłok, grupa druga (*b*) — własności w ustalonych warunkach, oraz grupa trzecia (*c*) — własności związanych z eksploatacją danego wyrobu.

Zdolność krycia bada się przez naniesienie materiału badanego na płytę szklaną pomalowaną w szachownicę biało-czarną. Zdolność krycia wyraża się minimalną ilością materiału potrzebnego do zakrycia całej szachownicy i wyraża się w $G/m^2$.

Badanie czasu schnięcia odnosi się do tzw. „pyłosuchości", gdy nie przylepia się wata do górnej warstwy powłoki, oraz wyschnięcia całkowitego, gdy przyciśnięta ustalonym ciężarkiem wata nie przylepia się do powłoki.

Dobór metody określania grubości powłoki zależy od rodzaju podłoża, na którym naniesiona jest powłoka (ferromagnetyczne — stal, diamagnetyczne przewodzące prąd — dural, diamagnetyczne nieprzewodzące prądu — drewno) oraz czy należy zastosować metodę niszczącą, czy nieniszczącą.

Najwięcej metod badania istnieje dla powłok naniesionych na podłoże ferromagnetyczne. Popularny jest warstwomierz ołówkowy mierzący siłę potrzebną do oderwania magnesu stałego od powierzchni badanego przedmiotu. Znany jest też przyrząd pod nazwą Elkometr. Grubość powłoki na podłożu diamagnetycznym mierzy się urządzeniami opartymi na metodzie prądów wirowych. Metoda polega na wykorzystaniu zależności oporności pozornej cewki pomiarowej, stanowiącej czujnik, od właściwości przedmiotu umieszczonego w jej polu elektromagnetycznym.

Badanie twardości polega na wyznaczaniu twardości względnej na specjalnym aparacie wahadłowym. Twardością względną jest stosunek czasu zanikania wahań wahadła ułożonego na próbce do czasu zanikania wahań wahadła ułożonego na szkle.

Badanie odporności na rysę przeprowadza się na specjalnym przyrządzie, w którym przesuwa się próbkę pod rylcem obciążonym ciężarkami. Odporność na rysę wyraża się obciążeniem rylca, które wytrzymuje powłoka bez uszkodzenia.

Elastyczność bada się na przyrządzie mającym sworznie o różnych średnicach. Próbkę przegina się na coraz mniejszych sworzniach o 180°. Elastyczność na zginanie wyraża się średnicą sworznia, na której nie zaobserwowano przy zginaniu próbki żadnych zmian na powłoce w postaci pęknięć i skruszeń.

Elastoprzyczepność bada się na aparacie do badania tłoczności blach. Miarą elastoprzyczepności jest odległość tłocznika, przy której nie nastąpiły żadne uszkodzenia powłoki.

Badanie przyczepności polega na nacięciu specjalnym przyrządem równoległych rys na próbce, tworzących kwadrat o znormalizowanych wymiarach boków. Miarą przyczepności jest liczba oderwanych kratek od podłoża.

Porowatość oznacza się na próbkach poddanych reakcji anodowej w elektrolicie, który wytwarza barwne związki z podłożem próbki. Porowatość wyraża się liczbą zauważonych mikrootworków.

Odporność na ścieranie bada się na specjalnym przyrządzie, w którym posypuje się próbkę odpowiednim ścierniwem. Odpornością na ścieranie jest ilość ścierniwa niszcząca powłokę na jednostkę jej grubości.

Wytrzymałość na uderzenie bada się na specjalnym przyrządzie. Określa się na nim maksymalną wysokość, z której spadający znormalizowany ciężarek nie uszkadza powłoki próbki.

Oznaczenie szlifowalności i zmatowienia polega na przesuwaniu ruchem równomiernym próbnika z nałożonym papierem ściernym. W przypadku oznaczania szlifowalności próbka powinna znajdować się pod strumieniem wody bieżącej lub innej cieczy. Ilość szlifowań określa norma. Wyrób badany nie powinien po szlifowaniu mieć na powierzchni grudek i zbryleń nie dających się zeszlifować. W czasie szlifowania powłoka nie powinna się zwijać i tworzyć wgłębień oraz nie powinno być zamuleń pomimo przebywania pod wodą.

Przy oznaczaniu zmatowienia próbę prowadzi się na sucho. Wyrób jest dobry, gdy powierzchnia pozostaje gładka, matowa i bez chropowatości.

Badanie powłok na napiętych tkaninach przeprowadza się na ustalonych próbkach. Tkaninę napina się na ramce o wymiarach 500×650 mm ciężarkami 1 kG i przybija gwoździkami tapicerskimi do zewnętrznego obwodu. Następnie pokrywa się nitrocelulozem bezbarwnym.

Po wyschnięciu na próbce można wyznaczyć strzałkę ugięcia lub użyć ją do badania oddziaływania nałożonej powłoki lakierowej na wytrzymałość tkaniny na rozciąganie. Do chwili zerwania próbki powłoka lakierowa na tkaninie nie powinna ulec pękaniu, łuszczeniu się lub odchodzeniu.

Oddziaływanie powłoki lakierowej na wytrzymałość tkaniny na rozciąganie określa się jako różnicę wytrzymałości tkaniny pocellonowanej i polakierowanej oraz wytrzymałości tkaniny tylko pocellonowanej.

Inne badania opisane są szczegółowo w podanych normach PN.

Rozdział 12

# PRACE MONTAŻOWE

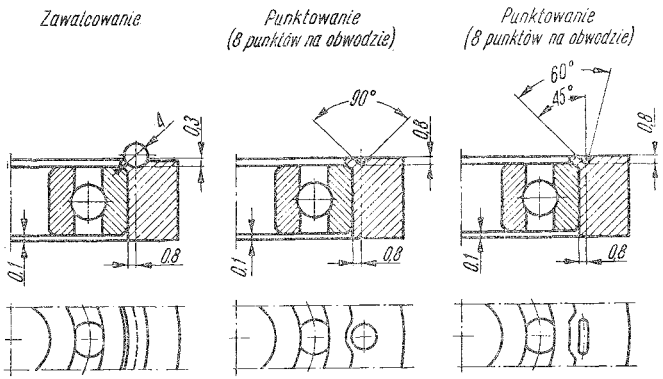
## 12.1. MONTAŻ I ZABEZPIECZANIE ŁOŻYSK TOCZNYCH

Łożyska toczne mają zastosowanie głównie w układach napędowych szybowca. Spotyka się łożyska stałe i wahliwe. Łożyska znajdują się w piastach i ramionach dźwigni duralowych oraz w końcówkach popychaczy.

Łożyska toczne są bardzo wrażliwe na osadzenie w gnieździe i zabezpieczenie przed wyciśnięciem osiowym.

Osadzanie łożysk powinno się dokonywać tylko na prasie, przy równomiernym docisku pierścienia zewnętrznego. W czasie wciskania pierścień wewnętrzny i koszyk powinny być zupełnie luźne, nie obciążone. Rodzaj pasowania pomiędzy pierścieniem zewnętrznym łożyska a gniazdem podaje dokumentacja konstrukcyjna.

Po osadzeniu łożysk należy je zabezpieczyć. Istnieje kilka sposobów zabezpieczenia, które pokazano na rysunku 12-1. Podane wymiary dotyczą łożysk stosowanych w szybowcach.

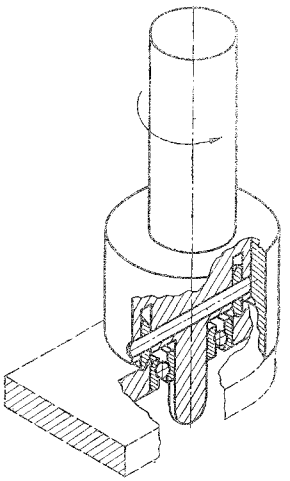



*Rys. 12-1. Sposoby zabezpieczania łożysk tocznych*

Najczęściej stosuje się zawalcowywanie. Zamiast kulki można użyć rolki o podobnym promieniu. Sposób ten wymaga specjalnego przyrządu (rys. 12-2). Należy zwrócić uwagę, że zawalcowywanie powinno się odbywać na podstawie, która podtrzymywałaby od spodu zarówno łożysko, jak i gniazdo, ze względu na różnicę wysokości obu części.

W przypadku stosowania zawalcowania do gniazda stalowego potrzebne jest wstępne wytoczenie rowka nożem do metalu. Następnie gniazdo zawalcowuje się jak w duralu kulką lub rolką.

Innym sposobem zabezpieczenia łożyska jest punktowanie. Punkty powinny być rozłożone równomiernie na obwodzie w liczbie 3 sztuk. Punktowanie wykonuje się punktakiem okrągłym o stożkowatym zakończeniu lub specjalnym narzędziem.

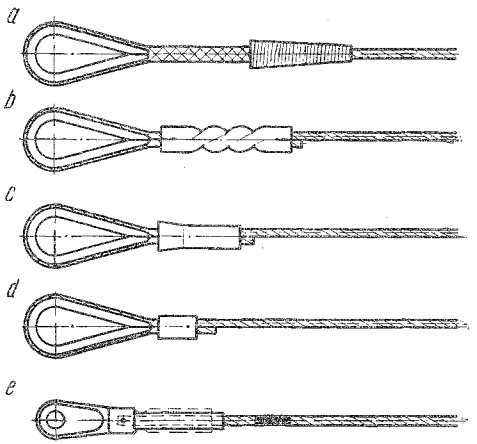


*Rys. 12-2. Przyrząd do zawalcowywania łożysk tocznych*

### 12.2. WYKONYWANIE CIĘGIEŁ LINKOWYCH

W konstrukcji szybowców stosuje się cięgła linkowe najczęściej w układach napędowych lotek, steru kierunku i wysokości. Stąd też wymagane jest bardzo staranne wykonanie cięgieł.

Do wykonania cięgieł stosowane są linki stalowe dwuskrętne przeciwzwite z rdzeniem metalowym i niemetalowym. Linki zakończone są chomątkami sercowymi lub krążkowymi. Koniec linki leży w rowku chomątka lub krążka i jest wpleciony do linki. Spotyka się również inne sposoby zakończeń linek. Zakończenia linek pokazane są na rysunku 12-3.




*Rys. 12-3. Sposoby zakończeń cięgieł linkowych*

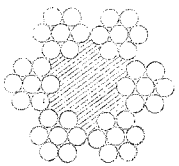
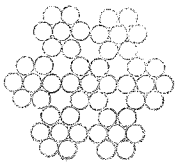
Linka podlega dwukrotnemu obciąganiu przed założeniem w szybowcu. Linka nieobciągnięta dawałaby w krótkim okresie eksploatacji duże zwisy i luzy w napędach.

Według normy PN-55/L-80204 linkę należy poddać obciążeniu wzdłużnemu o wielkości 50÷60% wytrzymałości na zerwanie. Wielkości te dla linek stosowanych w szybowcach podano w tablicy 12-1.

Linkę można poddawać wstępnemu naciągowi różnymi sposobami w zależności od warunków warsztatowych. Jeżeli warsztat jest odpo-

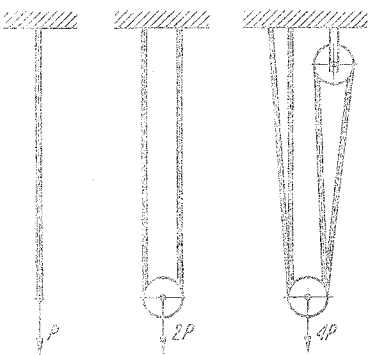
Tablica 12-1

Dane charakterystyczne lin stalowych

| Nazwa | | Nr normy | Średnica nominalna liny [mm] | Najmniejsza siła zrywająca [kG] | Wielkość naciągu wstępnego [kG] | Średnica drutu [mm] | Najmniejszy promień zagięcia linki [mm] | Najmniejsza siła zrywająca linki [kG] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | Lina stalowa dwuskrętna przeciwzwita 6×7+R z drutu 200 kG/mm² | PN-61 | 2,2 | 341 | 170÷205 | 0,24 | 120 | 273 |
| | | M-80206 | 2,6 | 464 | 232÷278 | 0,28 | 140 | 371 |
| | | | 3,2 | 685 | 342÷410 | 0,35 | 175 | 548 |
|  | Lina stalowa dwuskrętna przeciwzwita 7×7 z drutu 200 kG/mm² | PN-62 | 3 | 700 | 350÷420 | 0,32 | 160 | 560 |
| | | M-80214 | 3,5 | 987 | 494÷592 | 0,38 | 190 | 790 |
| | | | 4,5 | 1575 | 788÷945 | 0,48 | 240 | 1260 |

*) Uwzględniony 20% spadek wytrzymałości cięgła osłabionego zakończeniem

wiednio wysoki, można linkę powiesić pionowo i obciążyć wymaganą siłą przez powieszenie ciężaru. Można również stosować przerzucanie linki przez krążki. Wartości sił naciągania będą wówczas jak na rysunku 12-4.




*Rys. 12-4. Sposoby naciągania linek*

Przy stosowaniu krążków należy spełnić warunek

$$R \geqslant 500d$$

gdzie: $R$ — promień zagięcia linki,
$d$ — średnica drutu linki.

Odpowiednie wartości minimalnych promieni zagięcia podano w tablicy 12-1.

W zakładach produkcyjnych stosuje się specjalne stoiska do naciągania w układzie poziomym. Wymagane obciążenie realizuje się mechanizmem śrubowym przy zastosowaniu dynamometru jako wskaźnika siły.

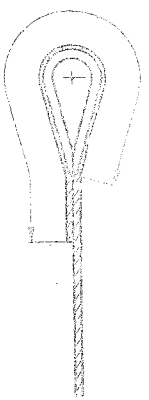
Wytwórnia dostarcza linkę nawiniętą na bęben. Linkę odwija się i odmierza wstępną długość, dodając do żądanej długości cięgła odcinki na zakończenie linki oraz odległości potrzebne na uchwycenie końców przy naciągu wstępnym. Po odmierzeniu należy w odległości około 25 mm na obie strony od miejsca przecięcia owinąć linkę miękkim drutem. Zabezpiecza to linkę przed rozkręcaniem się żył po przecięciu.

Linkę można przecinać szczypcami do cięcia drutu, palnikiem acetylenowym lub elektrycznie. Przycięty odcinek linki poddaje się wstępnemu

naciągowi przez okres co najmniej 3 minut. Następnie odcina się zniszczone końce w czasie obciągania, stosując również owijanie drutem przed rozkręceniem się. Z kolei przystępuje się do wykonania zakończenia. Z pokazanych na rysunku 12-3 zakończeń pierwsze (a) jest zaplotem ręcznym, inne wymagają stosowania specjalnych urządzeń.

Zaplatanie ręczne wymaga wprawy pracownika. Do zaplatania potrzebne jest narzędzie, którym można by podważać poszczególne żyły linki w celu przeplatania wolnych końców. Spotyka się specjalne szydło z rowkiem, przez które przepycha się żyłę; wystarczy też kolec stalowy, którym podważa się żyłę i obok niego przepycha inną żyłę.

Przed zaplataniem należy dokładnie wymierzyć potrzebną długość cięgła i uwzględnić nadmiar na opasanie chomątka i wykonanie zaplotu. Pokazaną na rysunku 12-5 długość wolnego końca należy przyjąć dla linek o średnicy 2,5 do 3,5 mm równą 250 mm. Miejsca linki przy końcach chomątka powinno się wyraźnie zagiąć szczypcami płaskimi, tak aby linka po ułożeniu na chomątku dokładnie do niego przylegała.



*Rys. 12-5. Długość wolnego końca linki do zaplotu*

Do uchwycenia chomątka z linką używa się specjalnego imadełka. W braku takiego można linkę przywiązać w trzech punktach chomątka miękkim drutem.

Następnie rozplątuje się wolny koniec linki aż do chomątka.

Rdzeń miękki linki obcina się, pozostaje 6 żył. Końce żył powinno się skręcić szczypcami płaskimi zgodnie z kierunkiem splotu drucików, ażeby nie wystawały cienkie druciki, które zahaczałyby w czasie zaplatania. Przy lince z rdzeniem sztywnym rdzeń pozostawia się i prowadzi go razem z pierwszą żyłą.

Zaplatanie zaczyna się żyłą, która leży na samej górze przy końcu chomątka. Za pomocą szydła przepycha się koniec pierwszej żyły pod trzema żyłami linki właściwej, leżącymi najbliżej końca chomątka, czyli przez środek linki, jak na rysunku 12-6. Następnie przepycha się pięć pozostałych żył w kolejności, jak pokazuje skręt liny. Drugą żyłę przepycha się pod dwiema żyłami linki właściwej, następnie zaś pod jedną żyłą linki właściwej. Zakończenie przeplatania szóstej żyły pokazano na rysunku 12-7.

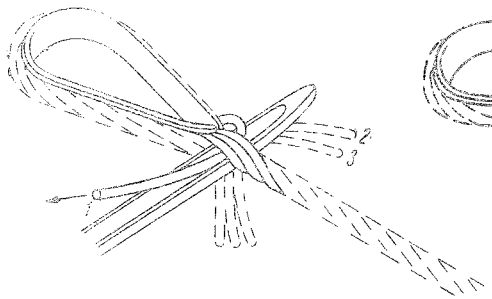
Po przepleceniu pierwszej warstwy należy silnie dociągnąć szczypcami wszystkie żyły w kierunku chomątka, zwłaszcza żyłę piątą i szóstą. Żyły rozchodzą się promieniście i tworzą tzw. koronę. Teraz chomątko należy odwrócić i przystąpić do wykonywania drugiej warstwy zaplotu.

Drugą warstwę zaplatania zaczyna się znowu od żyły pierwszej. Prowadzi się ją ponad najbliższą żyłą leżącą zgodnie z kierunkiem skrętu i przepycha pod dwiema, jak na rysunku 12-8, mocno dociągając w kierunku chomątka.

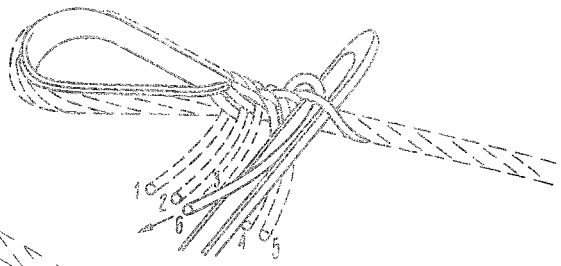
Podobnie postępuje się z następnymi pięcioma żyłami idąc według skrętu. Prowadzi się każdą ponad najbliższą żyłą i przepycha pod dwiema żyłami.

W celu łatwiejszego przepychania szydła pomiędzy żyłami można poluźnić skręt linki przez rozkręcanie jej w odwrotnym kierunku.

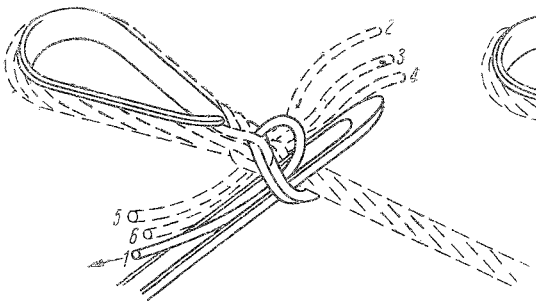
Zakończenie zaplatania szóstej żyły pokazano na rysunku 12-9.



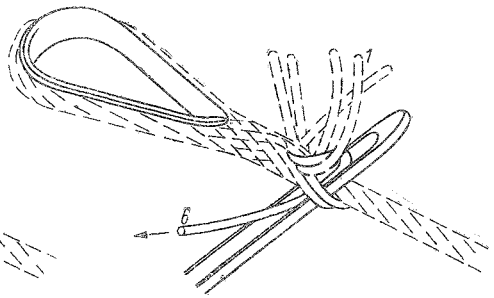
*Rys. 12-6. Przepychanie pierwszej żyły pierwszej warstwy*



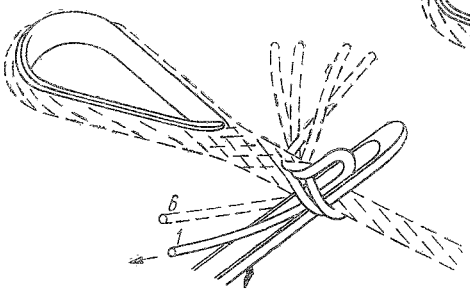
*Rys. 12-7. Przepychanie szóstej żyły pierwszej warstwy*



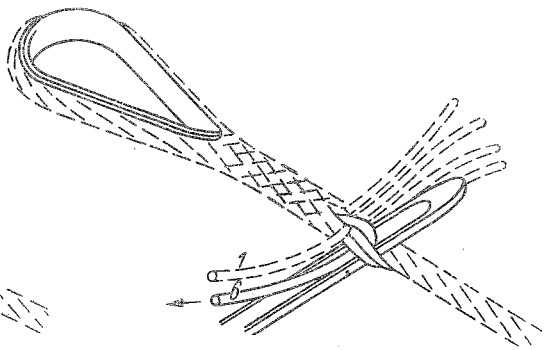
*Rys. 12-8. Przepychanie pierwszej żyły drugiej warstwy*



*Rys. 12-9. Przepychanie szóstej żyły drugiej warstwy*



*Rys. 12-10. Przepychanie pierwszej żyły trzeciej warstwy*

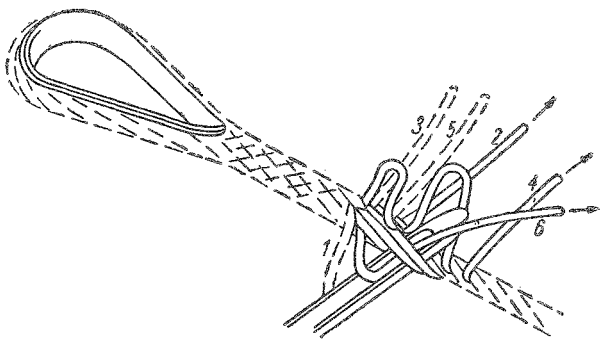


*Rys. 12-11. Przepychanie szóstej żyły czwartej warstwy*

Po zakończeniu zaplatania drugiej warstwy wszystkie żyły dociąga się silnie szczypcami wzdłuż linki i przegina naciągnięte w kierunku chomątka. Następnie uformowany początek zaplotu ściska się szczypcami przy jednoczesnym obracaniu.

Trzecią i czwartą warstwę zaplatania można rozpocząć od dowolnej żyły. Stosuje się tu tę samą zasadę co przy drugiej warstwie. Przepycha się każdą żyłę pod dwiema, prowadząc ją nad jedną najbliższą w kierunku zgodnym ze splotem.

Po wykonaniu czterech warstw przystępuje się do zakończenia zaplotu. Co drugą żyłę przeplata się tym samym sposobem co poprzednie warstwy, jednak kierując żyłę w odwrotnym kierunku. Zakończenie przybiera kształt stożka (rys. 12-12). Po mocnym dociągnięciu żył obcina się je szczypcami do cięcia drutu i wyrównuje cały zaplot przez pobijanie drewnianym młotkiem na drewnianym klocku.

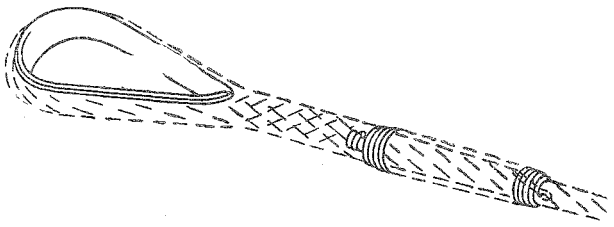



*Rys. 12-12. Sposób zakończenia zaplotu*

Ostatnią czynnością jest zabezpieczenie zaplotu przez owinięcie części stożkowej drutem. Stosuje się do tego celu miękki drut stalowy ocynkowany lub mosiężny wyżarzony o średnicy około 0,5 mm.

Zabezpieczenie zaczyna się około 8 mm poniżej zakończenia zaplotu. Drut przepycha się za pomocą szydła przez środek liny zostawiając koniec długości kilku milimetrów. Koniec ten zagina się i układa wzdłuż żył.

Drut owija się naokoło zwój przy zwoju wychodząc około 8 mm poza ostatnią obciętą żyłę. Koniec drutu przepycha się znowu za pomocą szydła przez środek liny, owija się dwa razy wokoło jednej żyły wierzchniej i obcina (rys. 12-13).



*Rys. 12-13. Sposób zabezpieczenia zaplotu drutem*

Zakończenie linki jak na rysunku 12-3*b* polega na uchwyceniu obu końców nanizanej rurki stalowej w szczękach odpowiedniego przyrządu i skręceniu o 1,5 obrotu. Koniec linki należy oblutować i przed włożeniem do rurki umyć spirytusem skażonym.

Zakończenie linki jak na rysunku 12-3*c* polega na 4-stopniowym obrotowym zaciskaniu nanizanej rurki stalowej wyżarzonej w dwudzielnych szczękach prasy. Koniec linki należy oblutować i umyć spirytusem skażonym.

Zakończenie linki jak na rysunku 12-3*d* wykonuje się przez sprasowanie nanizanej rurki ze stopu lekkiego PA4 w dwudzielnych szczękach prasy. Koniec linki należy oblutować i zmyć spirytusem skażonym.

Wreszcie zakończenie jak na rysunku 12-3*e* wykonuje się przez wstępne zagniecenie na prasie końcówki na początku jej części walcowej, tak aby można było założyć zespół końcówki z linką do dzielonego oczka przeciągarki i przeciągnąć całą część walcową końcówki.

Po wykonaniu zakończeń cięgło poddaje się powtórnemu naciągowi. Siła naciągu jest taka sama jak dla linki niezakończonej. Cięgło obciąża się co najmniej przez 3 minuty, po czym odciąża się i zdejmuje.

Cięgła powinny spełniać odpowiednie wymagania. Po wyciągnięciu wstępnym i wtórnym nie dopuszcza się w lince zerwanych drucików. Ze względu na miejscowe osłabienie linki na końcu zaplotu dopuszcza się 20% spadek wytrzymałości cięgła w stosunku do wytrzymałości linki. Wartości najmniejszych sił zrywających cięgło podano w tablicy 12-1. Badanie niszczące cięgła przeprowadza się na jednej lub dwu sztukach wybranych dowolnie z partii. Badane cięgło zrywa się na zrywarce.

Są także różne wymagania specjalne, zależne od rodzaju zakończenia. Cięgła zaplecione ręcznie nie mogą wykazywać luzów w pętli z chomątkiem po naciągnięciu. Dla wszystkich zakończeń rurkowych bardzo ważne jest, aby wolny koniec linki nie przesunął się w czasie obciągania.

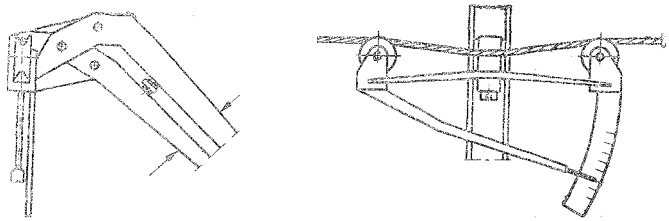
Cięgła linkowe podlegają konserwacji. Poszczególne sploty linki w czasie pracy smaruje od wewnątrz rdzeń niemetalowy, przesycony fabrycznie olejem fabrycznym 6-Z. Z zewnątrz cięgło konserwuje się malowaniem. Często stosowane smarowanie zewnętrzne cięgieł smarami stałymi powoduje przylepianie się wszelkiego rodzaju kurzu, brudu itp. i wówczas sploty i druty ocierają się wraz z tymi zanieczyszczeniami. Z tego powodu linki powinny pracować na sucho. Cięgła wsparte na krążkach powinny pracować w stanie suchym ze względu na wrażliwość tekstolitu na smary. Natomiast cięgła pracujące w różnych przepustach oczkowych i rurkowych powinny być smarowane ze względu na tarcie. Zdarza się również, że cięgła ze względów montażowych zakłada się do szybowca przed ostatecznym zakryciem powłoką sklejkową. Wówczas klej może kapać na rozwieszone wewnątrz linki. Z tego powodu powinny być one zabezpieczone antykorozyjnie.

### 12.3. ZABEZPIECZANIE ŚCIĄGACZY

Po założeniu linek napędowych w szybowcu, trzeba odpowiednio je naciągnąć. Naciąg odbywa się za pomocą ściągaczy. Powszechnie stosuje się ściągacze znormalizowane, mające dwie końcówki gwintowane oraz nakrętkę rzymską, która je łączy. Jedna końcówka ma gwint lewy. Stro-

na końcówki mająca gwint lewy oznaczona jest radełkowaniem prostym (prążkowaniem).

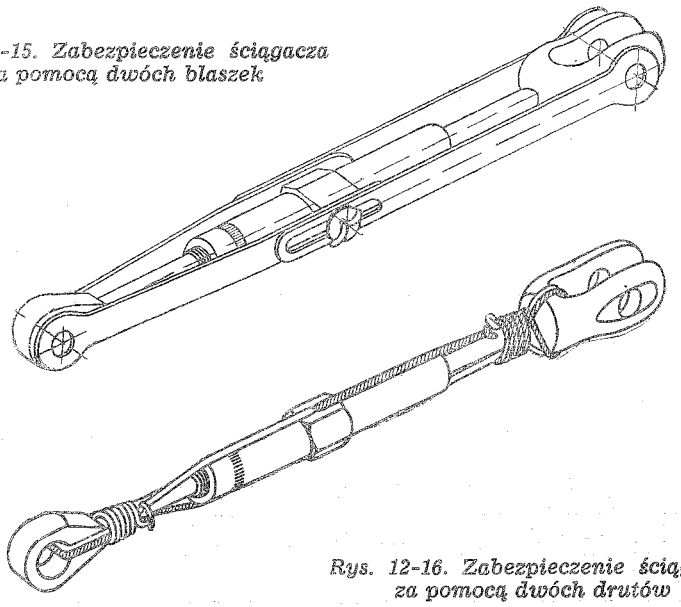
Naciąg odbywa się przez przekręcanie w jedną stronę nakrętki rzymskiej ściągacza. W tym celu ma on w środku uchwyt sześciokątny zaopatrzony dodatkowo otworem, w który można włożyć narzędzie i przekręcać. Naciąg doprowadza się do żądanej wielkości, mierząc go specjalnym dynamometrem. Jeden z typów dynamometrów pokazany jest na rysunku 12-14.



*Rys. 12-14. Pomiar naciągu cięgła linkowego za pomocą dynamometru*

Po ustaleniu naciągu linki należy ściągacz zabezpieczyć przed ewentualnym odkręceniem się. Istnieją dwa powszechnie stosowane zabezpieczenia: za pomocą blaszek dopasowanych do odpowiedniej wielkości ściągacza, jak to pokazano na rysunku 12-15, lub za pomocą drutu, jak na rysunku 12-16.

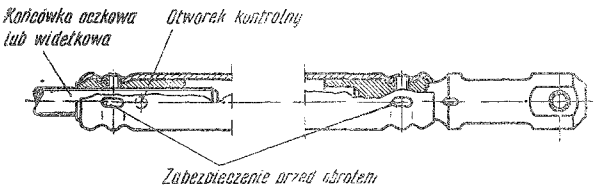
*Rys. 12-15. Zabezpieczenie ściągacza za pomocą dwóch blaszek*



*Rys. 12-16. Zabezpieczenie ściągacza za pomocą dwóch drutów*

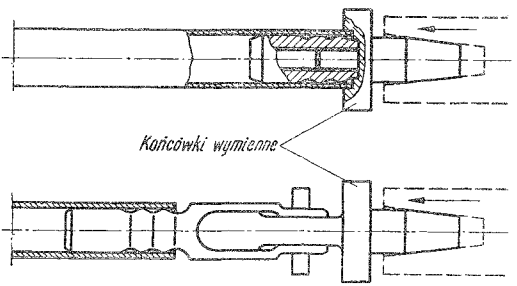
Zabezpieczenie drutem wykonuje się za pomocą dwóch niezależnych odcinków. Jeden koniec drutu zahacza się o końcówkę ściągacza, drugi przepycha przez otwór w nakrętce rzymskiej, prowadzi drugą stroną nakrętki, przewija się przez drugą końcówkę oraz owija kilka razy nasadę końcówki wraz z drugim drutem zahaczonym wcześniej o końcówkę i końce drutów związuje się razem. Drugim drutem wykonuje się analogiczne czynności.

W procesie wykonywania popychaczy (rys. 12-17) można rozróżnić kilka czynności. Są to: wciśnięcie końcówek do rurki, zawalcowanie rurki, zabezpieczenie przed obrotem końcówki w rurce, wykonanie otworka kontrolnego i gwintowanego.

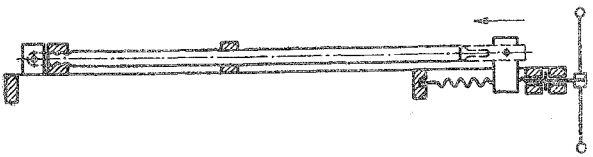



*Rys. 12-17. Popychacz rurowy*

Wciśnięcie końcówki popychacza do rurki można wykonać na tokarce wykorzystując śrubę pociągową (rys. 12-18) lub w specjalnym przyrządzie warsztatowym (rys. 12-19).




*Rys. 12-18. Sposób wciskania końcówek popychacza na tokarce*



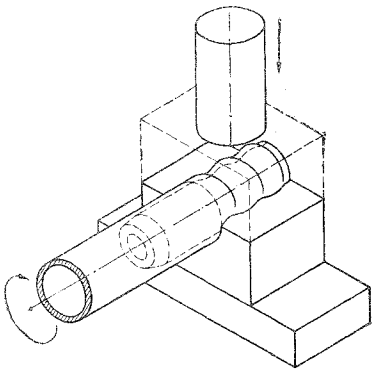
*Rys. 12-19. Schemat przyrządu do wciskania końcówek popychaczy*

Po wciśnięciu końcówki rurkę należy zawalcować. Najpewniejsze jest zawalcowywanie uderzeniowe na prasie. Rurkę popychacza wkłada się pomiędzy szczęki kształtowe (rys. 12-20) i przy kolejnych uderzeniach obraca w ręce.

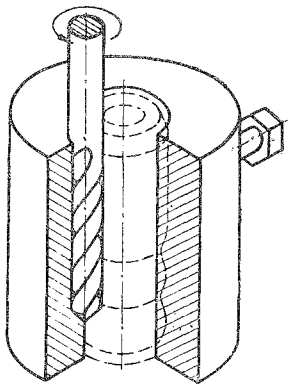
Sposób polegający na dociskaniu obracającej się rurki narzędziem kształtowym lub rolką jest o tyle niedobry, że rurka podlega odkształceniom plastycznym powodującym luz końcówki w rurce.

W celu zabezpieczenia osadzonych korków przed obracaniem się, należy wykonać dodatkową operację, a mianowicie zagnieść rurkę w jednym miejscu na obwodzie do rowka końcówki naciętego wzdłuż tworzącej. Jeden ze sposobów wykonania rowka wzdłuż korka pokazano na rysunku 12-21.

Bardzo pomocne w znalezieniu właściwego miejsca na obwodzie rurki do zabezpieczenia końcówki widełkowej przed obrotem jest przedłużenie nacięcia na końcówce popychacza poza miejsce zaciskania rurki.



*Rys. 12-20. Sposób zawalcowywania końcówki popychacza na prasie*



*Rys. 12-21. Sposób wykonania rowka wzdłuż korka popychacza*

Popychacze w eksploatacji wykazywały niejednokrotnie luzy pomiędzy korkiem a rurką. Dlatego obecnie osadza się korki na kleju. Odpowiedni jest klej epoksydowy na bazie żywicy „Epidian 5" utwardzany na zimno, o następującej recepturze (w częściach ciężarowych):

— żywica Epidian 5 — 100 części,
— cement portlandzki 350 — 65 części,
— utwardzacz Z-1 — 10÷13 części.

Bliższe dane o kleju „Epidian 5" zostały podane w rozdziale 8.7.1.

Po utwardzeniu się kleju pozostają do wykonania dwa otworki, kontrolny i gwintowany. Otworek kontrolny nieprzelotowy i niegwintowany służy do sprawdzenia w montażu długości wkręconej części gwintowanej końcówki, drugi zaś, przelotowy i gwintowany, służy do wkręcania końcówek umasienia. Przelotowość otworu związana jest z łatwością wykonania warsztatowego.

### 12.5. NIWELACJA SZYBOWCA

Po wykonaniu całego szybowca przystępuje się do jego niwelacji. Niwelacja służy do sprawdzenia geometrii bryły, jaką przedstawia szybowiec. Niwelację przeprowadza się również po wykonaniu naprawy szybowca uszkodzonego.

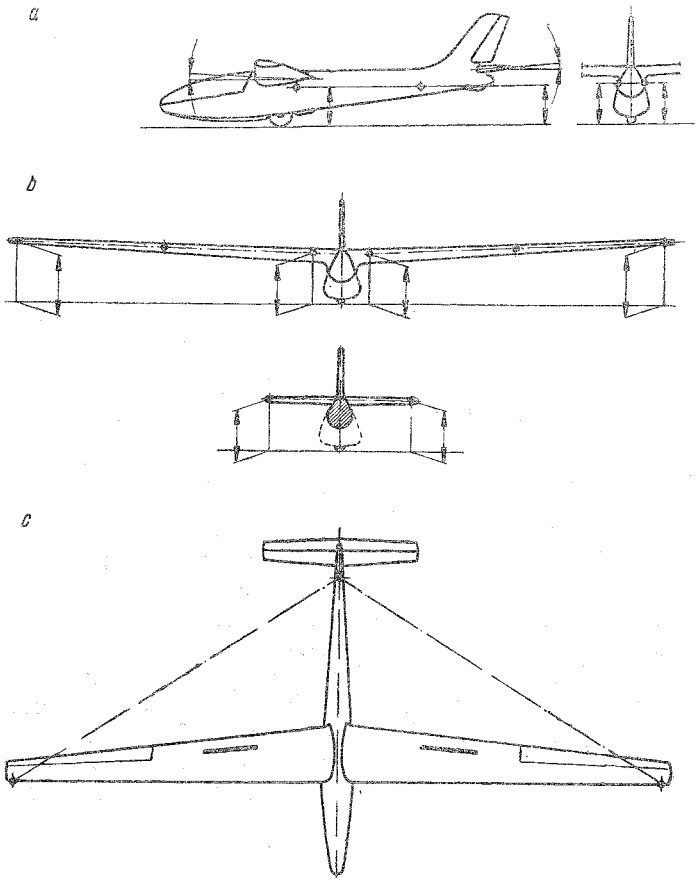
Do niwelacji szybowiec musi być całkowicie zmontowany. Badanie geometrii przeprowadza się w kilku etapach, jak na rysunku 12-22.

W pierwszym etapie należy ustawić kadłub szybowca pionowo i w linii lotu (rys. 12-22*a*) oraz podeprzeć koniec skrzydła. Służą do tego punkty niwelacyjne rozmieszczone po obu stronach kadłuba, które pozwalają na ustawienie pionowe, a punkty z boku na ustawienie kadłuba w linii lotu.

Po ustawieniu kadłuba można sprawdzić kąty ustawienia skrzydła oraz statecznika wysokości. Potrzebne są do tego wzorniki, które obejmowały-

by z zewnątrz skrzydło i statecznik. Na wzornikach powinny być wyznaczone cięciwy profilów.

W drugim etapie sprawdza się wznios skrzydła i statecznika wysokości (rys. 12-22b). Przeważnie skrzydła przy swych dużych rozpiętościach mają ugięcia. Do pomiaru wzniosu końce skrzydeł należy tak podeprzeć,




*Rys. 12-22. Sposób niwelacji szybowca*

aby zlikwidować ugięcia. Do tego służą co najmniej trzy punkty niwelacyjne na każdym skrzydle. Rozpinając drut między skrajnymi punktami można łatwo sprawdzić właściwe ustawienie skrzydeł. Wznios może być wyrażony kątem lub wymiarem w mm.

W tym etapie można również sprawdzić prawidłowe ustawienie statecznika wysokości względem skrzydła przez pomiar wysokości jednego i drugiego końca statecznika.

W etapie trzecim sprawdza się prostopadłość skrzydeł do kadłuba. W tym celu rozpina się drut pomiędzy końcami skrzydeł i kadłuba. Oba odcinki drutu powinny być jednakowej wielkości (rys. 12-22c).

Przedstawiony tok niwelacji dotyczył szybowców sztywnych. Przy budowie szybowców szkolnych należy za pomocą niwelacji szybowiec wystabilizować, posługując się cięgłami linkowymi. Stopień naciągu cięgieł sprawdza się dynamometrem.

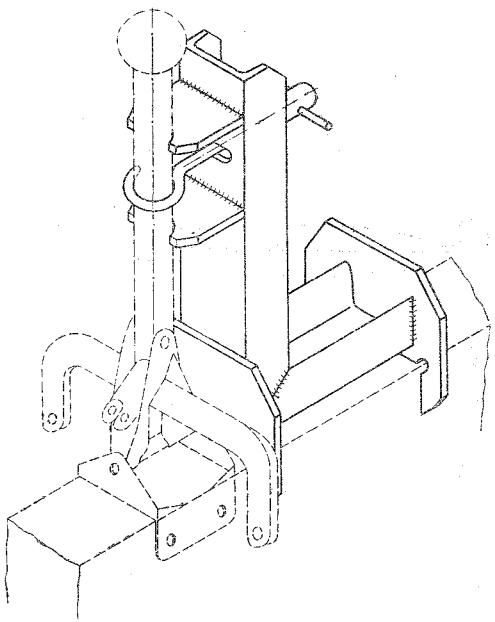
W szybowcach o konstrukcji sztywnej przeprowadza się jedynie stabilizację napędów. W poprzednim rozdziale była mowa o stabilizacji całego układu w przypadku szybowców szkolnych, których główne części konstrukcyjne, jak skrzydło, kadłub i usterzenie są niesztywne.

Stabilizacja mechanizmów napędowych obejmuje:
— ster kierunku,
— ster wysokości,
— klapkę wyważającą,
— lotki,
— hamulec aerodynamiczny.

Stabilizację przeprowadza się również po naprawach szybowca i w każdym przypadku złego działania części sterujących. Zasada wystabilizowania danego układu sterującego polega na ustawieniu go najpierw w położeniu neutralnym, a z kolei wychylaniu do skrajnych położeń i stwierdzeniu zgodności wychyleń z wymaganiami konstrukcyjnymi.

Pracę rozpoczyna się od zablokowania części, którą pilot w locie napędza dany układ. W przypadku steru kierunku są to pedały, w przypadku steru wysokości i lotki — drążek sterowy, w przypadku klapki wyważającej i hamulca — najczęściej dźwignie lub suwaki. Położenia neutralne wymienionych części są podawane w dokumentacji technicznej za pomocą wymiarów do charakterystycznych punktów stałych szybowca. Najczęściej drążek sterowy znajduje się w pozycji pionowej.

Przy produkcji seryjnej stosuje się niekiedy przyrządy pozwalające uchwycić na stałe drążek sterowy (rys. 12-23).



*Rys. 12-23. Uchwyt drążka szybowca szkolnego w czasie stabilizacji*

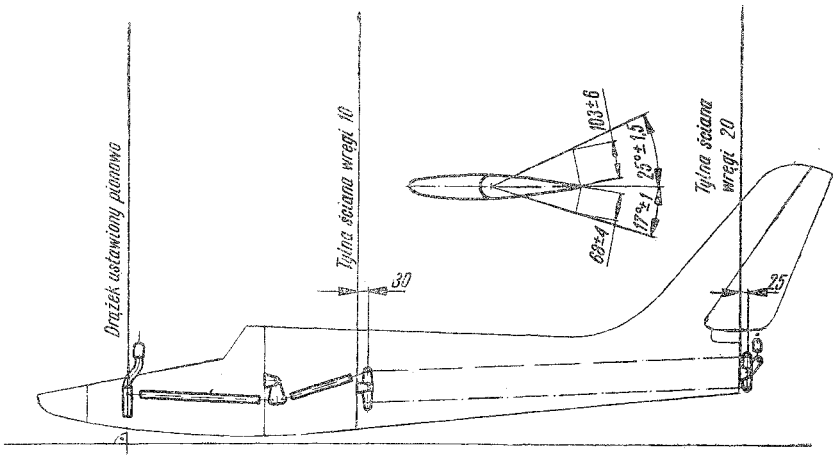
Oprócz wymiarów charakterystycznych dla położenia neutralnego części sterujących dokumentacja techniczna podaje dla każdego napędu charakterystyczne położenia neutralne dźwigni pośredniczących. Należy sprawdzić położenia tych dźwigni idąc po kolei od strony kabiny pilota. Przykład punktów kontrolnych napędu steru wysokości podano na rysunku 12-24.

Po ustaleniu części napędzających i dźwigni pośredniczących sprawdza się, czy część sterująca, np. lotka lub ster, znajdują się w położeniu neutralnym. Do tego potrzebne są wzorniki, które nakłada się na skrzydło lub statecznik.

Jeżeli kadłub szybowca znajduje się w linii lotu, można sprawdzić położenia neutralne specjalnym kątomierzem stabilizacyjnym.

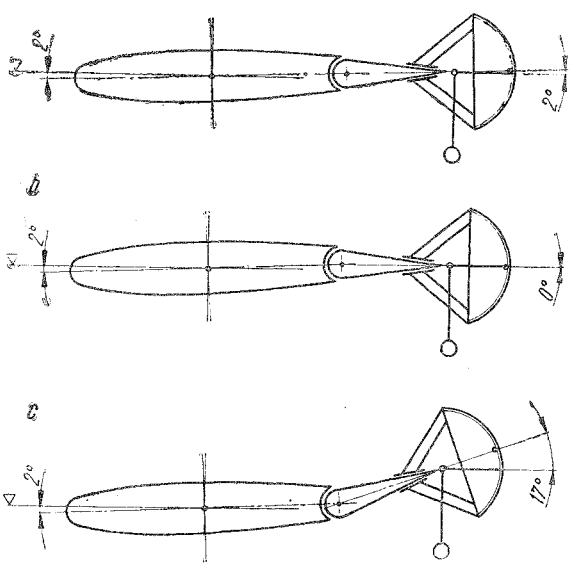
Zasada działania kątomierza pokazana jest na rysunku 12-25. Jeżeli kąt ustawienia statecznika wynosi np. 2°, to przy położeniu neutralnym

steru wskazówka kątomierza powinna wskazywać również 2° (rys. 12-25a). Wskazanie kąta 0° (rys. 12-25b) świadczy w tym przypadku o błędnym ustawieniu steru, wówczas należy ster przestabilizować.




*Rys. 12-24. Dokumentacja stabilizacji napędu steru wysokości*

Używa się do tego elementów kompensacyjnych w napędzie. Dla układów linkowych są to ściągacze, dla układów popychaczowych końcówki gwintowane w popychaczach.




*Rys. 12-25. Zasada działania kątomierza stabilizacyjnego*

Przy regulacji ściągacza gwinty obu końcówek muszą mieścić się całkowicie w nakrętce rzymskiej. Jest to dowód, że ściągacz nie został zanadto rozkręcony.

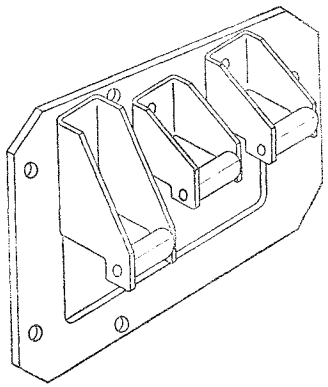
Przy regulacji popychacza końcówki gwintowane nie mogą być zbyt daleko wykręcone. Do sprawdzenia służą otworki kontrolne w każdym popychaczu. Przy włożeniu drutu do otworka powinno się natrafić na gwint końcówki, w przeciwnym przypadku końcówka jest wykręcona za daleko.

Po wykonaniu regulacji elementy kompensacyjne należy zabezpieczyć.

Ostatnią czynnością jest sprawdzenie wychyleń. Wartości wychyleń podane są w dokumentacji technicznej w jednostkach kątowych lub długości. Przestawiając część napędzającą w kabinie do położeń skrajnych podanych w dokumentacji odczytuje się wskazania, jak np. na rysunku 12-25c.

Części napędzające mają również zderzaki, którymi ogranicza się wychylenia w kabinie. Zderzaki są przestawialne i należy je odpowiednio wyregulować.

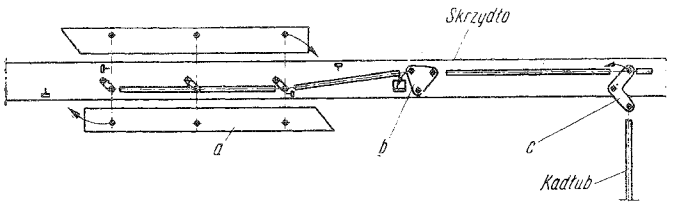
W produkcji seryjnej stosuje się przyrządy montażowe pozwalające przeprowadzać stabilizację w poszczególnych grupach wykonawczych. Przykład przyrządu blokującego dźwignie napędowe lotki, klap i hamulca na żebrze przykadłubowym skrzydła pokazano na rysunku 12-26.



*Rys. 12-26. Przyrząd do stabilizacji napędów w skrzydle*

### 12.7. REGULACJA HAMULCA AERODYNAMICZNEGO

Hamulce aerodynamiczne powinny całkowicie otwierać się, zgodnie z podanymi tolerancjami w wymaganiach technicznych, oraz dokładnie i pewnie zamykać się. Do spełnienia tych warunków konieczne jest prawidłowe zmontowanie i wyregulowanie całego układu napędzającego. Schemat typowego układu napędu hamulca pokazano na rysunku 12-27. W układzie tym można wyodrębnić trzy zespoły: płyty hamulcowe w skrzydle (*a*), układ blokujący płyty (*b*) oraz połączenie napędu skrzydło-kadłub (*c*).




*Rys. 12-27. Schemat układu napędu hamulca aerodynamicznego*

Płyty hamulcowe osadzone są na dźwigniach w kształcie ramion połączonych ze sobą łącznikiem. Ze względów wykonawczych płyty po zmontowaniu mogą nieco zapadać się w głąb powierzchni zewnętrznej skrzydła lub wystawać ponad powierzchnię. Oba zjawiska są bardzo niekorzystne aerodynamicznie. W celu dokładnego ustawienia płyt w stanie zamkniętym, stosowane są zderzaki, o które opierają się płyty. Zderzaki reguluje się w ostatecznym montażu.

Siły aerodynamiczne działające w czasie lotu (zwłaszcza z dużą prędkością) na płaszczyzny wierzchnie płyt mogą spowodować samoczynne otworzenie się hamulców. Aby do tego nie dopuścić, stosuje się układ blokujący. Podczas całkowitego otwierania płyt łącznik pomiędzy płytami a dźwignią blokującą przechodzi poza martwy punkt układu. W ten sposób dźwigni blokującej nie można obrócić w przeciwnym kierunku naciskając na nią od strony płyt hamulcowych. Podczas montażu należy odpowiednio wyregulować długość łącznika, którym jest popychacz rurowy z regulowaną końcówką gwintowaną. Właściwe ustawienie charakteryzuje pewien odgłos w końcowej fazie zamykania.

Pozostaje jeszcze czynność właściwego wyregulowania płyt w stanie otwartym. Odpowiednie wychylenie napędzającej dźwigni w przejściu skrzydło-kadłub regulowane jest zderzakiem gwintowanym.

### 12.8. WAŻENIE I WYZNACZANIE ŚRODKA CIĘŻKOŚCI SZYBOWCA

Jedną z końcowych prac przy budowie szybowca jest jego zważenie i wyznaczenie środka ciężkości. Dopuszczalne wartości obu wielkości podane są w dokumentacji technicznej wraz z ustalonymi tolerancjami (tabl. 12-2).

Tablica 12-2

**Ciężary i położenia środków ciężkości szybowców**

| Szybowiec | Ciężar własny [kG] | | Położenie środka ciężkości [cm] |
|---|---|---|---|
| | nominalny | dopuszczalny | |
| „ABC ter" A | 110 | 115 | 90±3 mierzony 90 cm od pł. symetrii |
| „Czapla" | 270 | 285 | 60±3,5 mierzony na cięciwie przykadłubowej |
| „Mucha 100" | 185 | 190 | 77±2 mierzony na cięciwie przykadłubowej |
| „Jaskółka bis" | 250 | 262 | 72,5±2 mierzony na cięciwie przykadłubowej |
| „Bocian E" | 340 | 345 | 61,5±2,5 mierzony na cięciwie przykadłubowej |
| „Foka C" | 237 | 243 | 57,5±2,0 mierzony na cięciwie przykadłubowej |

Ważenie szybowca przeprowadza się na wydzielonej powierzchni możliwie zamkniętej, chronionej od wiatru (rys. 12-28). Do ważenia używa się dwóch wag dziesiętnych o właściwej tolerancji wskazań. Na wagach ustawia się podpory o wysokościach pozwalających na utrzymanie szybowca w linii lotu, zgodnie z punktami niwelacyjnymi. Każdy szybowiec ma wytypowane miejsca podparcia kadłuba do ważenia. Jest to przeważnie przedni hak startowy do startu z lin gumowych oraz miejsce przykręcenia płozy tylnej do kadłuba.

Szybowiec waży się jednocześnie na dwóch wagach. W czasie ważenia podtrzymuje się szybowiec za jeden koniec skrzydła, aby zachować jego stan równowagi własnej. Oddzielnie ustala się ciężary obu podpór. Ciężary te należy odjąć od wartości odczytanych na poszczególnych wagach.

Całkowitym ciężarem szybowca jest suma obu ciężarów według wzoru:

$$Q = Q_1 + Q_2 \qquad [\text{kG}] \qquad (12\text{-}1)$$

Kolejną czynnością jest wyznaczenie środka ciężkości szybowca. W tym celu należy najpierw ustalić odległość $l$ pomiędzy obu punktami podparcia szybowca na wagach. Praktycznie przeprowadza się to za po-

mocą dwóch listew o długości około 2 m oraz pionu i przymiaru taśmowego stalowego. Środek jednej listwy przykłada się do przedniego punktu podparcia, a środek drugiej listwy do tylnego punktu podparcia szybowca. Położenie listew powinno być poziome.

Końce listew odrzutowuje się na ziemię za pomocą pionu i zaznacza. Średnia arytmetyczna z pomierzonych odległości $l_1$ i $l_2$ na ziemi pomiędzy właściwymi końcami listew (jak na rysunku 12-28) jest odległością $l$ pomiędzy obu punktami podparcia szybowca.

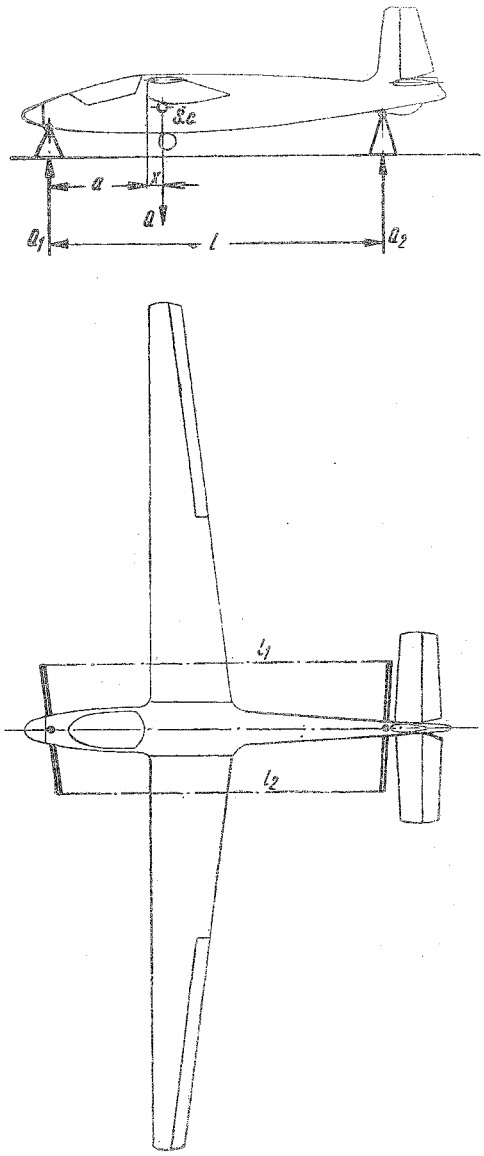
Po określeniu odległości $l$ między podporami można wyliczyć położenie środka ciężkości względem przedniej podpory według wzoru:

$$a+x=\frac{Q_2 \cdot l}{Q} \quad [\text{cm}] \qquad (12\text{-}2)$$

gdzie:

$a$ — odległość pomiędzy podporą przednią i krawędzią natarcia skrzydła, w cm,
$x$ — położenie środka ciężkości względem krawędzi natarcia skrzydła, w cm,
$l$ — odległość pomiędzy podporami, w cm,
$Q_2$ — ciężar szybowca na podporze tylnej, w kG,
$Q$ — ciężar całkowity szybowca, w kG,

a następnie położenie środka ciężkości względem krawędzi natarcia skrzydła.




*Rys. 12-28. Schemat ważenia szybowca*

### 12.9. MONTAŻ PRZYRZĄDÓW POKŁADOWYCH

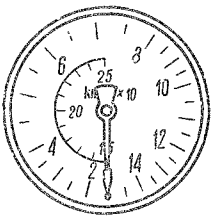
Szybowiec wyposaża się w następujące przyrządy pokładowe:

— prędkościomierz,
— wysokościomierz,
— wariometr,
— zakrętomierz,
— sztuczny horyzont,
— busolę.

Z wymienionych przyrządów prędkościomierz, wysokościomierz i wariometr działają na zasadzie pomiaru ciśnienia powietrza. Zakrętomierz i sztuczny horyzont są przyrządami giroskopowymi z pneumatycznym lub elektrycznym napędem wirnika. Busola oparta jest na zjawisku ustawiania się igły magnetycznej zawsze w kierunku północ-południe.

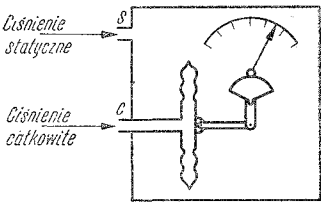
### 12.9.1. Prędkościomierz

Prędkościomierz służy do pomiaru prędkości poziomej lotu szybowca w km/h. Przyrząd działa na zasadzie pomiaru ciśnienia dynamicznego strug powietrza napływających na szybowiec. Schemat działania prędkościomierza, zwanego spiętrzeniowym, pokazany jest na rysunku 12-29.



Główną częścią przyrządu jest puszka membranowa, na którą działają ciśnienie statyczne (*s*) i ciśnienie całkowite (*c*). Puszka jest manometrem różnicowym, znajduje się w szczelnej puszce przyrządu. Różnica ciśnień działająca na puszkę membranową zależy od prędkości szybowca. Odpowiedni układ mechaniczny przenosi ruchy puszki membranowej na tarczę przyrządu.

Spotyka się również prędkościomierze podciśnieniowe, do których doprowadza się ciśnienie statyczne (0) i podciśnienie (−), oraz prędkościomierze kombinowane, do których doprowadza się podciśnienie (−) i ciśnienie całkowite (+).

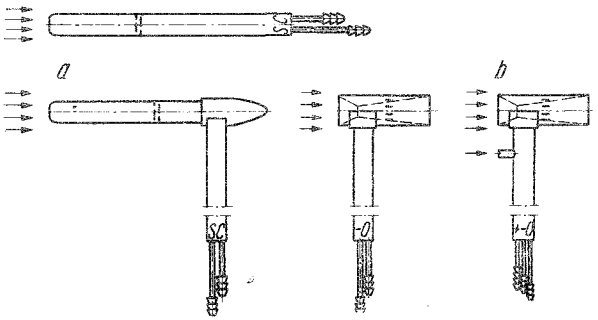



*Rys. 12-29. Schemat działania prędkościomierza spiętrzeniowego*

### 12.9.2. Dajniki ciśnienia powietrza

Ciśnienia pomiarowe przekazywane są dajnikami umieszczonymi poza przyrządem. W szybowcach o niższych własnościach aerodynamicznych stosowane są dajniki mierzące oba ciśnienia, umieszczone na zewnątrz kadłuba. W szybowcach wyższej klasy umieszcza się oddzielnie dajniki ciśnienia statycznego i oddzielnie dajniki ciśnienia całkowitego.

Dajniki dwóch ciśnień w jednym przyrządzie pokazano na rysunku 12-30.




*Rys. 12-30. Dajniki ciśnienia powietrza*

Rurka spiętrzeniowa Pitota odbiera ciśnienie całkowite powietrza c swym otwartym czołem oraz ciśnienie statyczne s otworkami na obwodzie.

W szybowcach wyższej klasy zasadę rurki Pitota stosuje się wprost na szybowcu, wykorzystując kadłub jako nadajnik.

W czole kadłuba umieszcza się nadajnik ciśnienia całkowitego, a na bokach otworki jako nadajniki ciśnienia statycznego. Ze względu na możliwość zanieczyszczenia otworków, przykrywa się je tarczkami w postaci sitka.

Dysze Venturi służą do pomiaru małych prędkości, przy których pomiar różnicy ciśnień jest za mało dokładny ze względu na opory tarcia. Istnieją dwie odmiany dysz Venturi.

Jedna z odmian odbiera podciśnienie (−) w przewężeniu dyszy, zależne od prędkości szybowca oraz ciśnienie statyczne (0) otworkami na obwodzie. Dyszę charakteryzuje współczynnik $K$ równy 3,5. Jest to stosunek podciśnienia w przewężeniu dyszy do ciśnienia dynamicznego uzyskany odpowiednimi wymiarami dyszy. Oznacza to, że na puszkę membranową prędkościomierza działa podciśnienie 3,5 raza większe od ciśnienia całkowitego przy użyciu rurki Pitota.

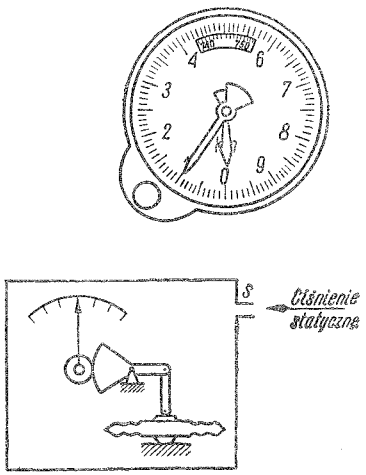
Odmiana druga odbiera podciśnienie (−) w przewężeniu dyszy zależne od prędkości szybowca oraz ciśnienie całkowite (+) dodatkową rurką. Dysza ma również obwód pomiarowy ciśnienia statycznego (0) i w ten sposób jest przystosowana do różnych typów prędkościomierzy. Dyszę charakteryzuje współczynnik $K$ równy 4,5, daje więc 4,5 raza większe podciśnienie od ciśnienia całkowitego.

Z opisu wynika, że poszczególne typy prędkościomierzy wymagają właściwych dajników ciśnienia powietrza.

### 12.9.3. Wysokościomierz

Wysokościomierz służy do określania wysokości lotu szybowca ponad poziom morza w m. Stosuje się wysokościomierze typu barometrycznego, w których wykorzystuje się zjawisko zmiany ciśnienia atmosferycznego z wysokością (rys. 12-31).

Główną częścią przyrządu jest puszka membranowa szczelnie zamknięta, z której wypompowano powietrze. Na puszkę działa ciśnienie statyczne $s$ panujące na danej wysokości. Przy wznoszeniu się ciśnienie maleje, co powoduje rozszerzenie się puszki, zaś przy opadaniu zachodzi zjawisko odwrotne. Ruchy puszki przekazywane są przez układ mechaniczny na tarczę przyrządu. Puszka umieszczona jest w szczelnej obudowie i połączona z dajnikiem ciśnienia statycznego, umieszczonym na zewnątrz szybowca. Bardziej precyzyjne przyrządy posiadają dwie wskazówki, z których większa wskazuje dziesiątki i setki metrów, a mniejsza — tysiące metrów. Oprócz tego znajduje się ruchoma tarcza ze skalą ciśnień.



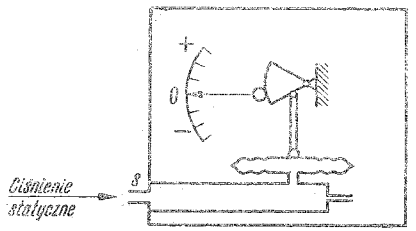

*Rys. 12-31. Schemat działania wysokościomierza barometrycznego*

Wysokościomierz ma w jednym z rogów gałkę pokrętła, którym można ustawić wskazówki na zero, a skalę ciśnień na barometryczne ciśnienie dnia.

### 12.9.4. Wariometr

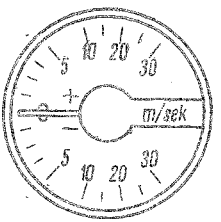
Wariometr służy do pomiaru prędkości wznoszenia lub opadania szybowca w m/s. Przyrząd działa na zasadzie pomiaru różnicy ciśnień: ciśnienia panującego wewnątrz przyrządu połączonego rurką włoskowatą z atmosferą i ciśnienia statycznego otaczającego szybowiec. Rozróżnia się wariometry membranowe i skrzydełkowe.

Schemat działania wariometru membranowego pokazano na rysunku 12-32. Przyrząd ma puszkę membranową, na którą działa ciśnienie sta-



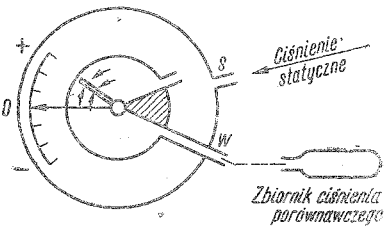

*Rys. 12-32. Schemat działania wariometru membranowego*

tyczne $s$ powietrza otaczającego oraz ciśnienie panujące wewnątrz przyrządu. Podczas zmiany wysokości zmienia się także ciśnienie statyczne, natomiast ciśnienie wewnątrz przyrządu zmienia się wolniej z powodu zastosowanej rurki włoskowatej. Różnicę ciśnień wskazuje strzałka na tarczy. W locie poziomym ciśnienia wyrównują się i strzałka ustawia się na działce zerowej.




Puszka przyrządu musi być izolowana cieplnie, aby usunąć wpływ temperatury otoczenia szybowca na zmiany ciśnień działających na puszkę membranową. Puszki wykonuje się z tworzyw sztucznych.

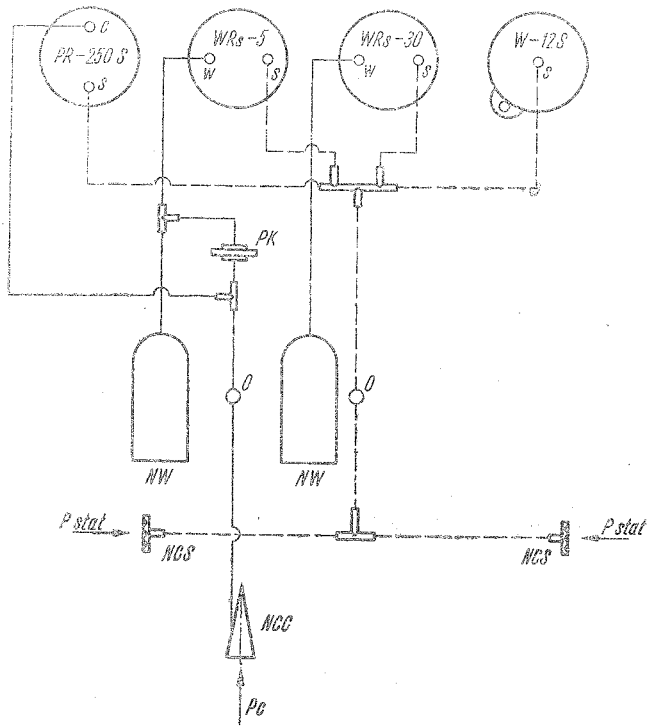
Schemat działania wariometru skrzydełkowego pokazano na rysunku 12-33. Wariometry skrzydełkowe są bardziej czułe i bardzo proste konstrukcyjnie. Na skrzydełko umieszczone obrotowo w komorze cylindrycznej działa ciśnienie statyczne $s$ oraz ciśnienie $w$ z naczynia wyrównawczego (termosu).




*Rys. 12-33. Schemat działania wariometru skrzydełkowego*

Podczas zmiany wysokości zmienia się położenie skrzydełka wskutek różnicy ciśnień. Na osi skrzydełka osadzona jest strzałka pomiarowa. W locie poziomym ciśnienia wyrównują się przez szczelinę pomiędzy skrzydełkiem a ścianką komory i strzałka powraca do położenia zerowego.

Schemat instalacji przyrządów pokładowych, działających na zasadzie pomiaru ciśnień powietrza otaczającego, pokazano na rysunku 12-34.




*Rys. 12-34. Schemat instalacji powietrznej przyrządów pokładowych*

OBJAŚNIENIA:
PR-250 S — prędkościomierz do 250 km/h,
WRs-5 — wariometr 0—5 m/s,
WRs-30 — wariometr 0—30 m/s,
W-12 S — wysokościomierz 0—12000 m,
PK — puszka kompensacyjna,
NW — naczynie wyrównawcze,
NCS — dajnik ciśnienia statycznego
NCC — dajnik ciśnienia całkowitego
O — odwadniacz

### 12.9.5. Zakrętomierz

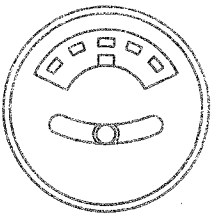
Zakrętomierz służy do wskazywania kierunku zakrętu szybowca; ma zastosowanie przede wszystkim w czasie lotów bez widoczności ziemi. Mechanizm zakrętomierza nie pokazuje przechyleń szybowca, dlatego przyrząd jest dodatkowo wyposażony w chyłomierz poprzeczny. Jest to zagięta rurka z cieczą tłumiącą, w której może przesuwać się kulka.

Schemat działania zakrętomierza pokazany jest na rysunku 12-35. Jest to układ giroskopowy. Płaszczyzna obrotu wirnika pokrywa się z osią podłużną szybowca. Wirnik może być napędzany pneumatycznie lub elektrycznie. Obecnie stosuje się zakrętomierze elektryczne napędzane bateriami kieszonkowymi 4,5 V.

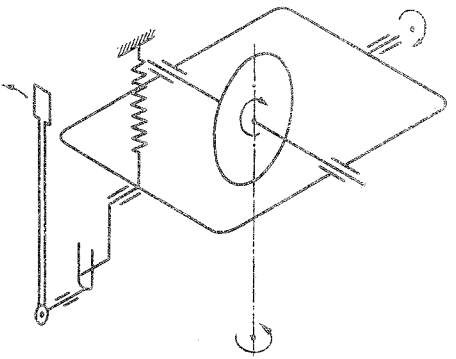
Przy zakręcie szybowca względem osi $z$-$z$ powstaje moment giroskopowy obracający ramkę wirnika wokół osi $x$-$x$. Układ mechaniczny przy-

rządu powoduje przekazywanie tego obrotu poprzez wskazówkę na tarczę. Moment giroskopowy jest równoważony sprężyną.

Obrót szybowca względem osi podłużnej pokazuje chyłomierz poprzeczny. W locie prostym kulka spoczywa na dnie rurki w środku. Podczas przechylenia szybowca kulka przemieszcza się w rurce w kierunku przechyłu. Przy jednoczesnym zakręcie i przechyleniu kulka ustawia się zgodnie z działaniem na nią sił ciężkości i odśrodkowej.



W zakrętomierzu pneumatycznym wirnik wykonany jest w postaci turbinki, a w zakrętomierzu elektrycznym jako rotor silniczka elektrycznego.

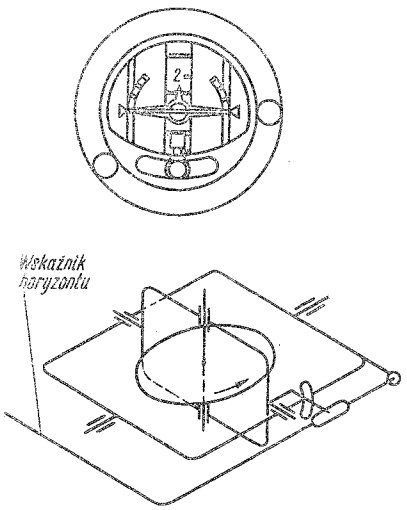


*Rys. 12-35. Schemat działania zakrętomierza*

### 12.9.6. Sztuczny horyzont

Sztuczny horyzont wskazuje położenie szybowca względem horyzontu rzeczywistego. Przyrząd ten ułatwia przede wszystkim loty bez widzialności ziemi, wskazuje przechylenia szybowca względem osi podłużnej oraz pochylenia względem osi poprzecznej (rys. 12-36).

Jest to układ giroskopowy o trzech stopniach swobody. Wirnik obraca się w płaszczyźnie poziomej. Oś wirnika zawieszona jest w podwójnej ramce. Ramka wewnętrzna zawieszona jest na osiach o kierunku zgodnym z osią podłużną szybowca, zaś ramka zewnętrzna zawieszona jest na osiach poprzecznych do kierunku lotu szybowca.




*Rys. 12-36. Schemat działania sztucznego horyzontu*

Wirnik może być napędzany pneumatycznie lub elektrycznie. W celu utrzymania wirującego wirnika w stałym położeniu poziomym, ma on dodatkowe urządzenie zwane korektorem lub urządzeniem antyprecesyjnym, napędzane również pneumatycznie lub elektrycznie.

Z obudową wirnika giroskopu sprzęgnięty jest wskaźnik sztucznego horyzontu w kształcie sylwetki samolotu. W celu pokazywania kierunku zakrętu szybowca sztuczne horyzonty mają wbudowane zakrętomierze i dodatkowo chyłomierze poprzeczne kulkowe.

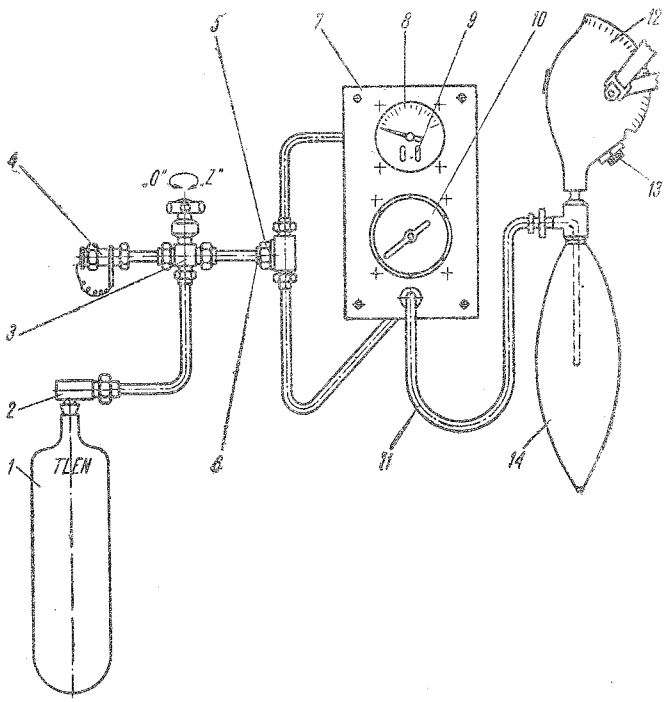
Nie wszystkie sztuczne horyzonty nadają się do użytku w lotach z pełną akrobacją. Do tego rodzaju lotów wyposaża się je w urządzenie do blokowania.

Wszystkie przyrządy pokładowe powinny być przechowywane w pomieszczeniach czystych i ogrzewanych. Temperatura pomieszczeń powinna wynosić od 10 do 30°C, przy wilgotności względnej 45÷70%. Półki powinny być drewniane, malowane farbami olejnymi. Należy zwrócić szczególną uwagę na ochranianie przyrządów od pyłu i wszelkich środków wywołujących korozję. Ze względu na stosowanie części gumowych w przyrządach należy szyby okien magazynu pomalować białą farbą w celu ochrony przed działaniem promieni słonecznych.

## 12.10. MONTAŻ APARATURY TLENOWEJ

Szybowce przeznaczone do lotów wysokościowych wyposażone są w aparaty tlenowe. Znane są aparaty produkcji NRF firmy Auer-Draeger oraz radzieckie typu KP-14 i KP-18. W Polsce produkowany jest typ SAT-5 (Szybowcowa Aparatura Tlenowa). Aparatura SAT-5 zapewnia potrzebną ilość tlenu do oddychania, do 12 000 m włącznie.

Schemat instalacji tlenowej pokazano na rysunku 12-37. Na szybowcu musi być umieszczona butla *1* z tlenem lekarskim sprężonym do 150 kG/cm², połączona przewodem wysokiego ciśnienia z zaworem pokładowym *3*, który powinien znajdować się w zasięgu ręki pilota, dalej rozchodzą się przewody wysokiego ciśnienia do manometru wskaźnikowego




*Rys. 12-37. Schemat montażu szybowcowej aparatury tlenowej SAT-5*

*1* — butla 4 l, *2* — sztucer kątowy, *3* — zawór pokładowy, *4* — końcówka ładowania, *5* — nakrętka sprzęgająca, *6* — końcówka, *7* — urządzenie dawkujące, *8* — manometr wskaźnikowy, *9* — zasłonki, *10* — regulator tlenu, *11* — wąż tlenowy, *12* — maska tlenowa, *13* — zawór maski, *14* — worek gumowy

*8*, znajdującego się w polu widzenia pilota, i regulatora tlenu *10*, będącego w zasięgu ręki pilota. Opisana część aparatury jest na stałe zamontowana do szybowca. Oprócz tego do aparatury należy maska tlenowa *12* z workiem gumowym *14*, którą dołącza się wężem miękkim *11* do urządzenia dawkującego *7*.

Przed zamontowaniem w szybowcu cała instalacja powinna być przechowywana w magazynie zapewniającym dobre warunki magazynowania. Pomieszczenia powinny być suche, ogrzewane i lekko wentylowane o temperaturze od 5 do 20°C i wilgotności względnej powietrza 50÷60%, o oknach z szybami zamalowanymi białą farbą ochraniającą gumę przed działaniem promieni słonecznych. Części aparatury powinny być umieszczone na drewnianych półkach odpowiednio oddalonych od ścian i podłogi. W pomieszczeniach tych nie wolno jednocześnie magazynować benzyny, nafty, kwasów, ługów i innych materiałów działających szkodliwie na metal i gumę.

Węże i rurki gumowe powinny być przesypane talkiem i przechowywane w stanie wyprostowanym. Podczas magazynowania części instalacji podlegają systematycznym przeglądom według instrukcji fabrycznej.

Butlę tlenową można uzupełniać przez podłączenie butli lotniskowej do końcówki ładowania *4* i odkręcenie zaworu pokładowego *3*. W butli szybowcowej powinien zawsze znajdować się tlen o ciśnieniu nie mniejszym niż 10 kG/cm². Zabezpiecza się w ten sposób wnętrze butli przed zanieczyszczeniami i korozją. Butlę ładuje się do ciśnienia max 150 kG/cm² (zależnie od temperatury otoczenia) obserwując wskazania manometru wskaźnikowego *8*. Po naładowaniu zakręca się zawór pokładowy *3*.

Urządzenie dawkujące *7* redukuje ciśnienie i pozwala na ciągłe podawanie tlenu do worka maski w ilości potrzebnej do właściwego oddychania na danej wysokości. Dlatego urządzenie dawkujące *7* wyposażone jest w regulator tlenu *10*, na którym oznaczone są położenia pokrętła ręcznego odpowiadające danej wysokości.

Worek spełnia rolę oszczędzacza tlenu. Podczas wdechu do płuc dostaje się tlen zmieszany z pozostałym powietrzem w worku oraz powietrzem wciągniętym przez zawór maski *13*. Przy wydechu część powietrza wchodzi do worka i miesza się z podanym tlenem przez urządzenie dawkujące, a część uchodzi z maski przez zawór maski. Powyżej 8 km zawór zamyka się na stałe. Podczas oddychania otwierają się i zamykają zasłonki *9* w okienkach manometru wskaźnikowego *8*.

Wytwórnia dostarcza wszystkie agregaty aparatury, natomiast przewody sztywne wykonuje się we własnym zakresie ze względu na różne usytuowanie agregatów w szybowcu. Przewody wykonywane są z rurek miedzianych. Końcówki przewodów lutuje się lutem srebrnym LS 45 według PN-63/M-69411. Ze względu na przenoszenie wysokich ciśnień w instalacji szybowcowej sprawdza się przewody na wytrzymałość przy ciśnieniu hydraulicznym o 50% większym niż nominalne, tzn. 225 kG/cm² ±5 kG/cm² roztworem 2÷3 G dwuchromianu potasu w litrze wody, a oprócz tego na szczelność — powietrzem pod ciśnieniem 150 kG/cm² ± ±10 kG/cm². Przewody przemywa się benzyną i wysusza.

Przewody dłuższe niż 500 mm dostarcza się do montażu w stanie prostym. Dogina się je podczas montażu, przy czym najmniejszy promień gięcia równy jest 5 wielkościom średnicy, czyli 25 mm. Wszelkie ochraniacze końcówek agregatów usuwa się dopiero przed samym łączeniem przewodów. Przewód do butli tlenowej dołącza się dopiero po przedmuchaniu tlenem sztucera kątowego.

Czynności montażowe powinny być wykonywane przy zachowaniu czystości. Szczególnie ważne jest oczyszczenie części z wszelkich śladów tłuszczów, które w połączeniu z tlenem grożą wybuchem. Kategorycznie zabrania się smarowania gwintów i uszczelek końcówek.

Po połączeniu wszystkich agregatów należy zbadać całą aparaturę na szczelność pod wysokim ciśnieniem przy zamkniętym regulatorze tlenu. Do badania wykorzystuje się tlen zawarty w butli pokładowej. Otwiera się zawór pokładowy na bardzo krótki okres czasu (20÷30 s) i śledzi zachowanie się wskazówki manometru wskaźnikowego. W okresie 10 minut nie powinien następować spadek ciśnienia. Przy zauważonej nieszczelności należy pokryć pianą mydlaną wszystkie połączenia i ponownie z butli doprowadzić do instalacji tlen pod wysokim ciśnieniem. W miejscach nieszczelnych ukazują się pęcherzyki. Pianę należy usunąć czystą szmatką.

Następnie sprawdza się hermetyczność maski z workiem. W tym celu wykręca się wąż tlenowy z maski, przekręca zawór maski *13* w ten sposób, aby zamknąć otwory wzdłużne na obwodzie, i zatyka się ręką otwór wlotowy. Maska jest hermetyczna, jeżeli nie da się wykonać pełnego wdechu przy zatkanym otworze wlotowym.

Po sprawdzeniu maski przyłącza się ją do węża tlenowego, aby sprawdzić działanie aparatury przy oddychaniu. Po otworzeniu zaworu pokładowego ustawia się kolejno pokrętło regulatora tlenu na różne wysokości lotu i wykonuje normalne oddechy. Przy wdechu zasłonki w okienkach manometru wskaźnikowego powinny się otwierać, zaś przy wydechu całkowicie zamykać.

Przy przekręceniu pokrętła w położenie „awaryjne" tlen powinien płynąć ciągłym strumieniem, a zasłonki powinny być całkowicie otwarte.

Rozdział 13

# TECHNOLOGICZNOŚĆ KONSTRUKCJI

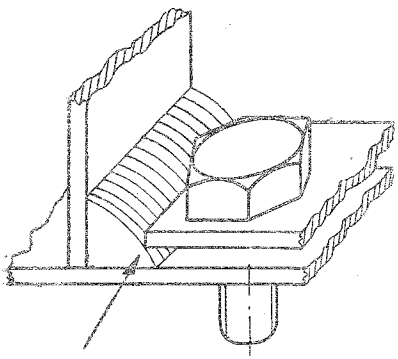
Technologiczność konstrukcji, czyli łatwość wykonawstwa warsztatowego, odgrywa dużą rolę przy ocenie sprzętu szybowcowego.

Obszar zagadnień związanych z technologicznością konstrukcji szybowca jest bardzo duży i może być rozpatrywany z różnych punktów widzenia. Ocena technologiczności wiąże się najczęściej z możliwościami wykonawczymi danego zakładu produkcyjnego.

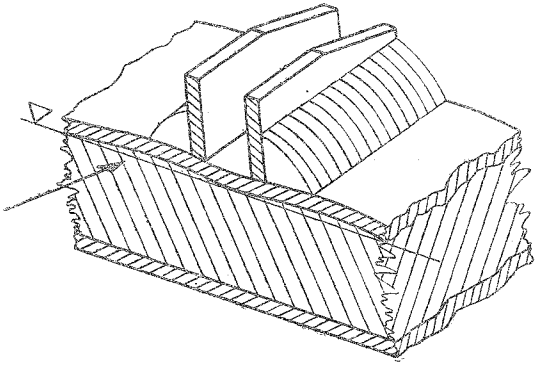
Możliwości techniczne są przy dzisiejszym stanie wiedzy bardzo duże, chodzi jednak o to, aby niepotrzebnie nie stawiać producentowi wygórowanych wymagań i przez to nie zwiększać kosztu wykonania szybowca.

Oto kilka zagadnień z omawianego tematu.

— Przy spawaniu dodaje się materiał dodatkowy, który wypełnia na określoną grubość krawędź łączącą, dlatego nie należy za blisko umieszczać części współpracujących lub części łączących (rys. 13-1).



*Rys. 13-1. Za blisko umieszczone części współpracujące*



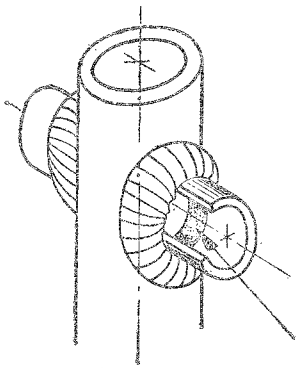
*Rys. 13-2. Odkształcenia po spawaniu płaskiej blachy*

— Części po zespawaniu odkształcają się (rys. 13-2) i aby przywrócić im płaskość trzeba stosować prostowanie przez uderzanie młotkiem z góry w część ułożoną części na płaskiej płycie. Niekiedy trudno jest przeprowadzić taką operację i wymaga ona specjalnego oprzyrządowania.

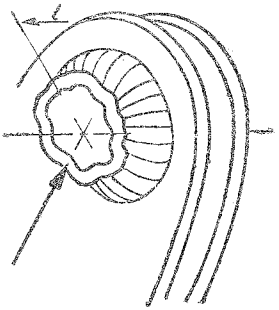
— Na drugiej stronie powierzchni spawanych tworzy się zgorzelina, która trzyma się mocno podłoża. Na przykład ścianka wewnętrzna wspawanej rurki cienkościennej (rys. 13-3) będzie miała pierścień utworzo-

ny ze zgorzeliny. Aby go usunąć, trzeba używać różnych sposobów mechanicznych, zależnych od kształtu przedmiotu.

— Przy spawaniu stapia się materiał łączony. Jeżeli spawanie przewidziane jest blisko krawędzi, to np. wspawana rurka do okucia (rys. 13-4) będzie miała brzegi nadtopione i nierówne i ulegnie skróceniu.

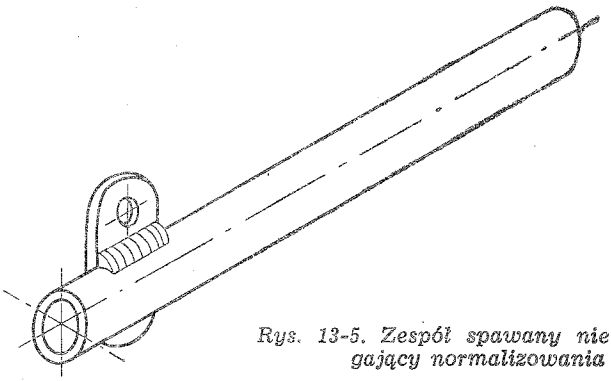


*Rys. 13-3. Zgorzelina na drugiej stronie powierzchni spawanych*



*Rys. 13-4. Stopione krawędzie w czasie spawania*

— Na ogół w spawanych częściach pozostają naprężenia wewnętrzne spowodowane kurczeniem się materiału w czasie ostygania. Do usunięcia naprężeń wewnętrznych służy proces normalizowania, który przeprowadza się w piecu hartowniczym. Decyzję o konieczności przeprowadzenia procesu normalizowania należy podejmować rozpatrując oddzielnie każdą część, gdyż są przedmioty spawane (rys. 13-5), które nie wymagają tej obróbki.



*Rys. 13-5. Zespół spawany nie wymagający normalizowania*

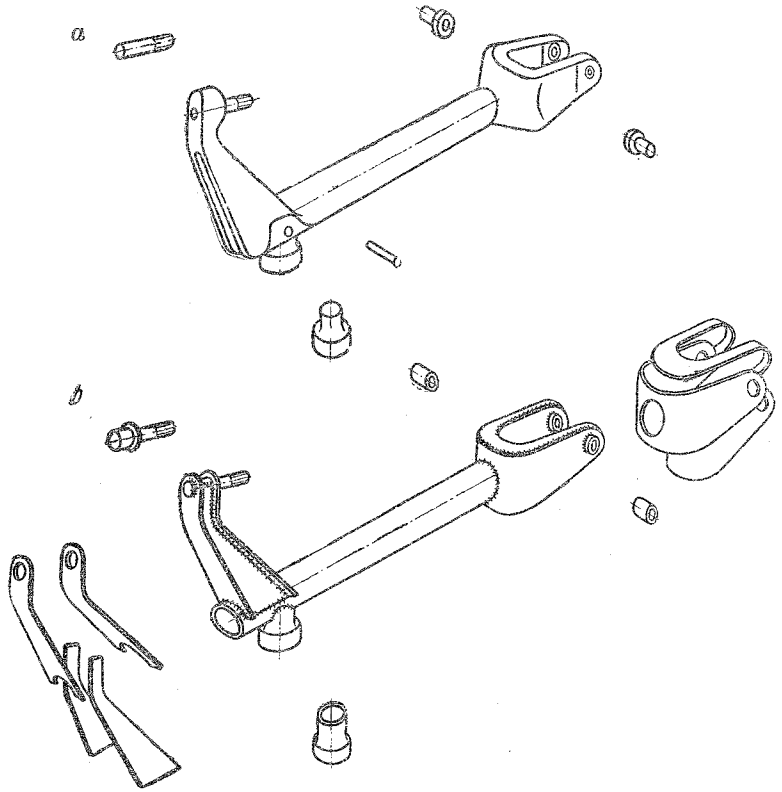
— Należy pamiętać, że każda obróbka cieplna związana jest z posiadaniem pieców o odpowiednich wymiarach komór grzewczych i odpowiednich wanien z cieczą chłodzącą.
Zdarza się, że przy za małej wannie przedmiot wychładzany jest tak duży, iż podnosi zanadto temperaturę cieczy chłodzącej.

— Części obrabiane cieplnie zmieniają swój kształt i wymiary. Do utrzymania ścisłych wielkości potrzebne jest niekiedy stosowanie specjal-

nych przyrządów hartowniczych, które razem z częścią obrabianą wkłada się do komory pieca, a potem zanurza w wannie. Są to przyrządy kosztowne i ciężkie.

— Części spawane podlegają ścisłym warunkom odbioru stosownie do ustalonej przez konstruktora klasy ważności części. Dokładne badanie materiału i złącza spawanego związane jest z kosztownymi procesami i urządzeniami, jak wykrywacz rys typu magnaflux, roentgen itd.

— Decyzję o sposobie wykonania niektórych części należy podejmować po przeanalizowaniu całości zagadnienia. Na przykład sterownicę pokazaną na rysunku 13-6 można wykonać w wersji odlewanej lub spa-



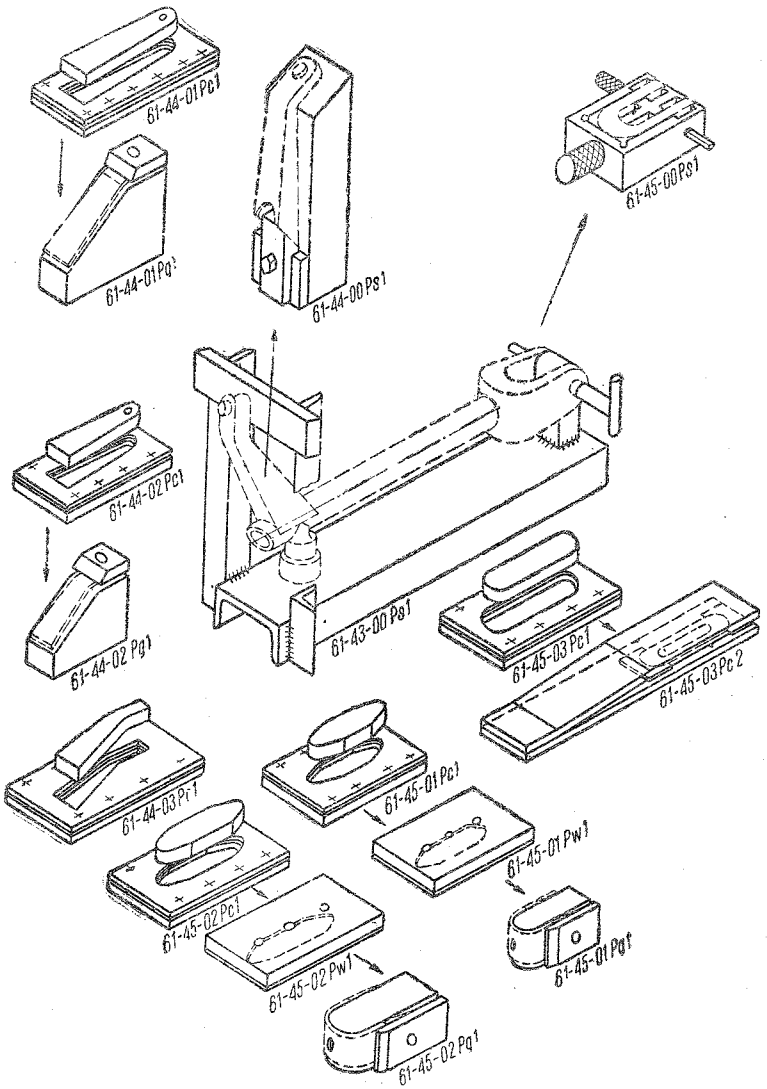

*Rys. 13-6. Sterownica w wersjach odlewanej i spawanej*
*a* — wersja odlewana, *b* — wersja spawana

wanej. Zakres oprzyrządowania seryjnego tej sterownicy pokazuje rysunek 13-7 i jak widać jest on bardzo duży. Wersja odlewana nie wymaga oprzyrządowania, wiąże się natomiast z zamówieniem dużej liczby sztuk, poza tym ze względu na ciężar musi być to odlew z lejnych stopów lekkich, które są bardzo wrażliwe na korozję i wymagają bardzo starannego magazynowania, konserwowania i częstych przeglądów w eksploatacji.

— Części przeznaczone do zgrzewania muszą spełniać wymagania pod względem dostępu do miejsca zgrzewanego. Elektrody muszą objąć z zewnątrz obie części zgrzewane (rys. 13-8).

— Elektrody mają ustalone najmniejsze wymiary średnic. Jeżeli zgrzeiny

przewidziane są przez konstruktora za blisko brzegów blach, następuje boczne przebicie, które nadtapia krawędzie (rys. 13-9) i nie uzyskuje się prawidłowego połączenia.

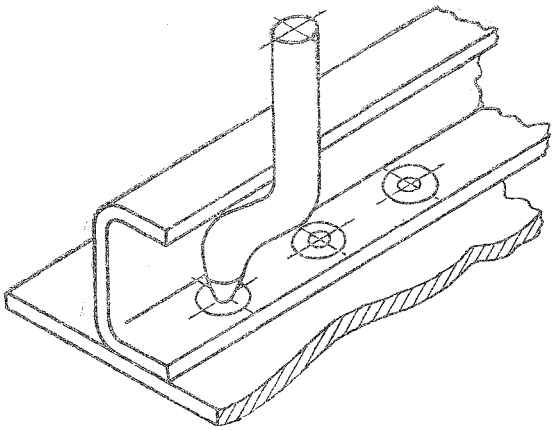



*Rys. 13-7. Zakres seryjnego oprzyrządowania sterownicy spawanej*

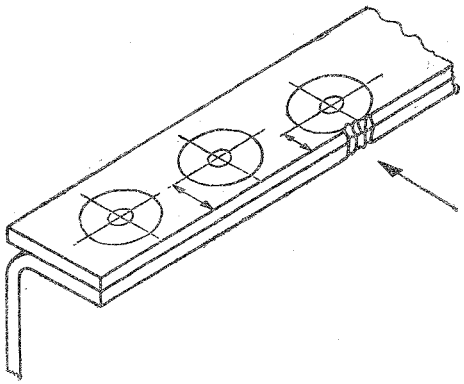
— Przy wykonywaniu części metalowych metodą frezowania lub strugania z grubego bloku napotyka się na znaczne odkształcenia spowodowane wyzwalaniem się naprężeń wewnętrznych materiału (rys. 13-10). Ważne jest utrzymanie właściwych proporcji wymiarowych konstrukcji.
— Sprężyny są elementem, który wymaga dobrego opanowania wykonawstwa warsztatowego. Najłatwiej wykonuje się sprężyny na zimno z drutu sprężynowego. Podgrzanie tego drutu powoduje utratę właś-

ciwości sprężystych. Aby uniknąć konieczności podgrzewania drutu, ucho sprężyny nie powinno być mniejsze od zwoju (rys. 13-11).

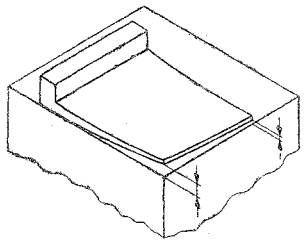
— Części stalowe poddaje się obróbce galwanicznej, w której bardzo ważne jest dokładne oczyszczenie powierzchni. Oczyszczenie mechaniczne



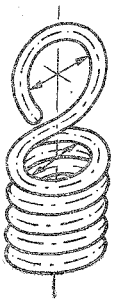
*Rys. 13-8. Trudne podejście do miejsca zgrzewanego*



*Rys. 13-9. Za blisko wykonane zgrzewanie*



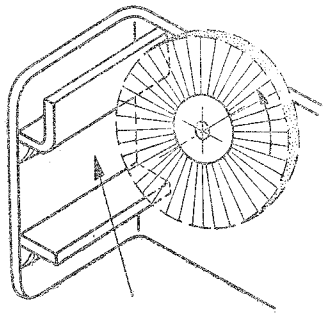
*Rys. 13-10. Odkształcenie bloku frezowanego*



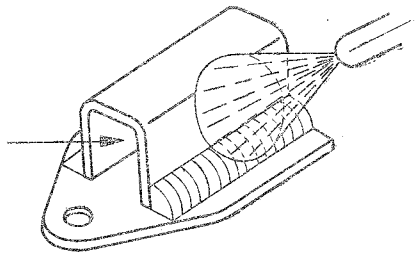
*Rys. 13-11. Prawidłowo zaprojektowane ucho sprężyny*

polega na szczotkowaniu lub piaskowaniu. Do szczotkowania nadają się tylko powierzchnie otwarte dostępne dla wirującej szczotki drucianej, o określonej średnicy; szczotka wówczas nie wchodzi do naroży

(rys. 3-12) ani do wnętrza rur. Bardziej skuteczne jest piaskowanie. Oczyszcza ono szczególnie dobrze część spawaną ze zgorzeliny, ale wymaga również nieskomplikowanych kształtów. Strumień piasku wylatując z pistoletu pod określonym kątem stożka nie powinien natrafiać na ekran zasłaniający dostęp do oczyszczanej powierzchni (rys. 13-13).

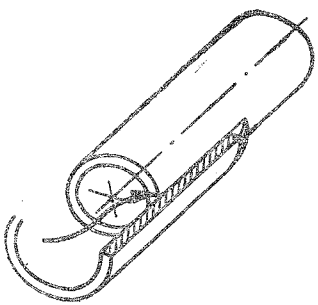


*Rys. 13-12. Brak możliwości oczyszczenia powierzchni*

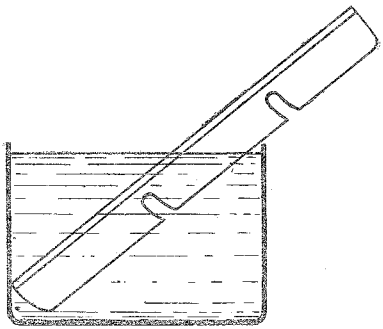


*Rys. 13-13. Ekran zasłaniający strumień piasku*

— Chemiczne oczyszczanie części przed procesami galwanicznymi ma tę zaletę, że obejmuje wszystkie niedostępne miejsca przy oczyszczaniu mechanicznym, oprócz przestrzeni całkowicie zamkniętych. Przeprowadza się bowiem ten proces metodą maczania. Środek trawiący wchodzi jednak we wszystkie szczeliny, kawerny itp. (rys. 13-14) i nie daje się stamtąd wypłukać, tworząc w pozornie osuszonym okuciu ogniska powstającej korozji. Dlatego do trawienia nie nadają się zmontowane zespoły, połączenia nitowane zgrzewane oraz niektóre części spawane.
— Wszelkie kąpiele przeprowadza się w wannach. Części mogą się w nich nie mieścić (rys. 13-15).



*Rys. 13-14*
*Miejsce trudne do wypłukania*



*Rys. 13-15. Kąpiel części nie mieszczącej się w wannie*

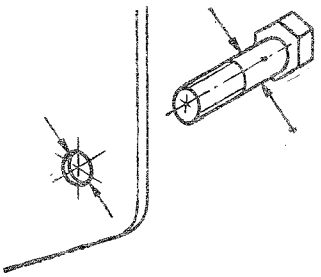
— Z procesem cynkowania wiąże się czynność odwodorowywania. Proces wymaga urządzeń ogrzewczych, w których panuje odpowiednia temperatura. Wielkość komory może ograniczać wymiary części odwodorowywanych.
— Skomplikowane kształty części mogą powodować ekranowanie w czasie pokrywania galwanicznego, przez co powierzchnie są źle lub w ogóle nie pokryte warstwą ochronną. Na przykład utrudnione jest

pokrycie wnętrz rur; przy większych średnicach można stosować wprowadzanie specjalnych elektrod.

— Przy pokrywaniu części powłokami malarskimi stosuje się nieraz system maczania, który umożliwia dokładne oblanie całej powierzchni, jednak na części pokrywanej tym sposobem mogą pozostać miejsca, z których trudno jest odprowadzić nadmiar emalii, a przy pokrywaniu metodą natrysku można nie objąć strumieniem emalii wszystkich miejsc konserwowanych (np. wnętrza rur).

— Charakterystyczną cechą ujemną malowania jest wyraźne pocienianie się warstwy malarskiej na ostrych krawędziach blach, rur i prętów, co powoduje zmniejszenie odporności antykorozyjnej.

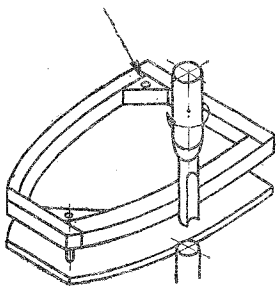
— Powierzchnie współpracujące i gwintowane powinny być ochraniane w czasie nakładania powłok malarskich. Przy malowaniu zakrywa się nałożoną warstwą emalii wszystkie otwory, przez co otwory wykończone mechanicznie „na gotowo" (rys. 13-16) trzeba dodatkowo „przepuszczać" po malowaniu, odsłaniając tym samym powierzchnię metalu.



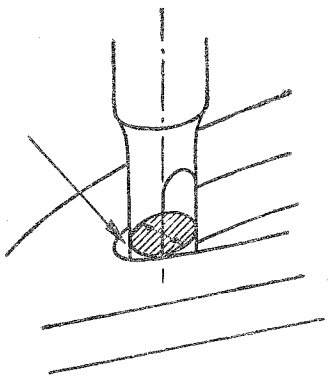
*Rys. 13-16. Średnica otworu po malowaniu*

— Przy stosowaniu wyrobów schnących w piecu, należy się liczyć z wymiarami dysponowanego urządzenia grzewczego oraz wymaganą temperaturą suszenia (ok. 120°C). Części malowane piecowo nie mogą mieć materiałów wrażliwych na wyższą temperaturę.

— Części obrabiane sposobem kopiowania na frezarce powinny mieć miejsca przeznaczone do nawiercenia otworów technologicznych pod kołki ustalające wzornik-kopiał (rys. 13-17). Części frezowane powinny być na tyle sztywne, aby nie odkształcać się podczas frezowania.



*Rys. 13-17. Konieczne otwory do umiejscowienia części frezowanej*

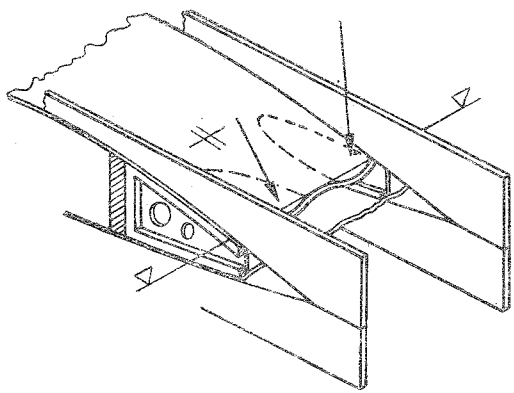


*Rys. 13-18*
*Naroże mniejsze od narzędzia*

— Kształt obrabiany części może być dowolny, byleby nie miał naroży o promieniu mniejszym od połowy średnicy freza (rys. 13-18).

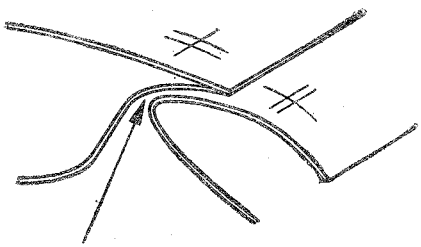
— Obecnie stawia się duże wymagania co do zachowania dokładności profilu aerodynamicznego. Najczęściej odnosi się to do miejsca, w którym znajduje się żeberko. Ważne jest, aby pokrycie szkieletu było sztywne na całej długości i nie powstawały zafalowania (rys. 13-19).

— Czułym miejscem konstrukcyjnym pod względem dotrzymania wymiarów i kształtów są szczeliny lotek lub klap oraz szczeliny w usterzeniach ze względu na współpracę ruchomych względem siebie zespołów

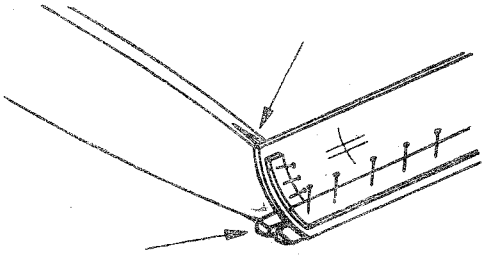


*Rys. 13-19. Zafalowania pokrycia pomiędzy miejscami kontrolowanymi*

(rys. 13-20). Przy projektowaniu należy uwzględnić luz technologiczny, gdyż inaczej może nastąpić brak pełnych wychyleń lotek, lub sterów.
— Przy klejeniu szkieletów stosuje się wywieranie docisku za pomocą gwoździkowania. Sposób ten wymaga jednak odpowiednich powierzchni do wbicia gwoździ bez narażenia części na rozkłucia (rys. 13-21).



*Rys. 13-20. Brak możliwości pełnego wychylenia lotki*

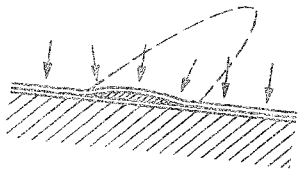


*Rys. 13-21. Za cienkie elementy do gwoździkowania*

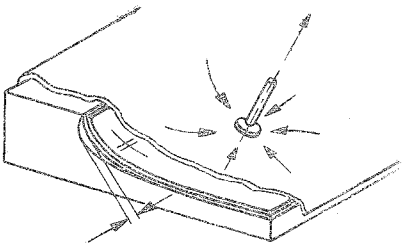
Gwoździkowanie wymaga również miejsca na ruch młotka ręcznego. Wywieranie docisku pod prasą możliwe jest jedynie dla części, które można ułożyć na stole prasy. Wykonywanie prac mechanicznych jak i pneumatycznych dostosowanych indywidualnie do kształtów konstrukcji jest opłacalne jedynie przy dużych seriach produktu.
— Wywieranie docisku za pomocą pod — lub nadciśnienia ma tę wadę, że ciśnienie rozkłada się na całej płaszczyźnie równomiernie i dlatego każda nierówność powstała przez zgrubienie materiału sklejanego lub powstała w warstwie kleju nie daje się rozprowadzić i pozostaje na części sklejonej (rys. 13-22).
— Warstwowe pokrycia sklejkowe lub z wypełniaczy klei się bardzo dobrze metodą podciśnieniową, ale wywierany docisk może nie wystarczyć do dociśnięcia za sztywnego pokrycia do foremnika (rys. 13-23).

Przewidziany promień gięcia może być też mniejszy od dopuszczalnego i przy mechanicznym wywarciu docisku nastąpi złamanie sklejki.

— Wykończenie powierzchni drewnianej sposobem malarskim jest bardzo pracochłonne. Dlatego do wymagań stawianych wykończeniu

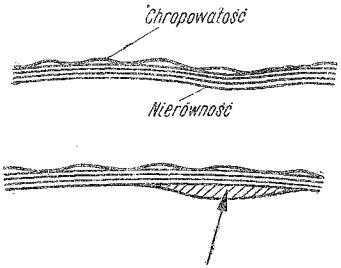


*Rys. 13-22. Nierówność pozostała pomimo docisku pneumatycznego*



*Rys. 13-23. Za mały promień zagięcia pokrycia sklejkowego*

lakierniczemu należy podchodzić bardzo krytycznie. Należy pamiętać, że sztuka uzyskiwania dobrych powłok malarskich polega na nakładaniu bardzo cienkich warstw. Warstwy te — patrząc w przekroju — układają się równomiernie do podłoża (rys. 13-24).




*Rys. 13-24. Schemat układania się warstw lakierniczych*

Należy rozróżnić dwa pojęcia: gładkość (przeciwieństwo chropowatości) uzyskanej powłoki zewnętrznej oraz nierówności pokrycia. Nierówność można usunąć jedynie za pomocą zacierania ubytków kitem, jednak jest to zabieg pracochłonny i powoduje bardzo poważny przyrost ciężaru szybowca.

Uzyskanie dużej gładkości wiąże się ze sposobem nakładania powłok malarskich oraz rodzajem ich wykończenia.

Rozróżnia się trzy stopnie wykończenia:

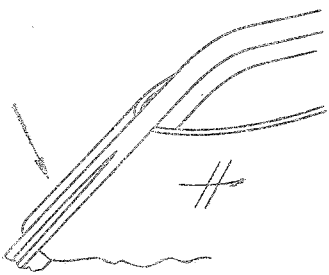
a) natrysk, który daje powłokę chropowatą, widzianą pod dużym powiększeniem w postaci gęsto ułożonych kropelek,
b) polerowanie po natrysku, uzyskane sposobem ręcznym lub mechanicznym, dające powierzchnię błyszczącą, ale nadal chropowatą,
c) szlifowanie powierzchni i polerowanie, dające powierzchnię gładką, lustrzaną, uzyskane sposobem ręcznym lub mechanicznym.

Żądanie wykończenia malarskiego w odpowiednim stopniu powinno być uzasadnione technicznie.

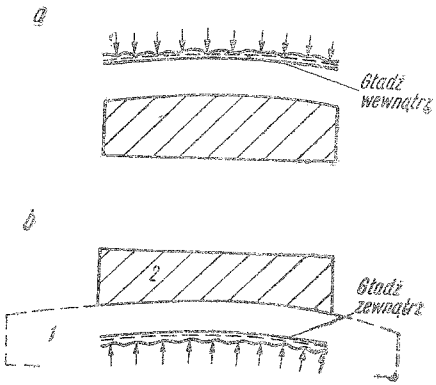
— Nałożenie powłok malarskich na drewno sosnowe jest niewystarczające; prowadzi do pękania drewna (rys. 13-25). Dlatego wszystkie otwarte powierzchnie drewna narażone na bezpośredni kontakt z atmosferą należy pokryć sklejką lub tkaniną.

— Przy ręcznym formowaniu laminatów, które ma najczęściej zastosowanie w częściach szybowcowych, uzyskuje się gładź tylko po stronie foremnika, na którym dokonuje się laminowania. Druga strona pozostaje mocno chropowata, zależna od faktury przesycanej tkaniny.

Najłatwiej jest wykonać foremnik pozytywowy, na którym otrzymuje się gładź od strony wewnętrznej laminatu (rys. 13-26*a*). Wykonanie laminatu z gładzią po stronie zewnętrznej (rys. 13-26*b*) jest



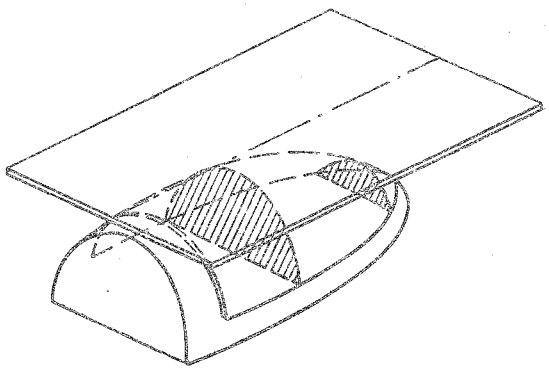
*Rys. 13-25. Za słabe zabezpieczenie krawędzi przed pękaniem*




*Rys. 13-26. Schematy wykonywania osłon laminatowych*

kosztowniejsze, gdyż wymaga wykonania najpierw modelu-pozytywu *1*, następnie odwzorowania foremnika-negatywu *2*, na którym można dopiero formować laminat. Jeżeli część konstrukcyjna musi mieć dwie strony gładkie, wówczas trzeba stosować foremnik i stempel, czyli oprzyrządowanie jest jeszcze bardziej skomplikowane.

— Półproduktem wyjściowym przy formowaniu szkła organicznego jest płaska płyta, którą odpowiednio formuje się na gorąco dzięki własnościom termoplastycznym materiału. Przy metodzie kontaktowej (rys. 13-27), polegającej na obciąganiu, uzyskuje się dokładne odtworzenie

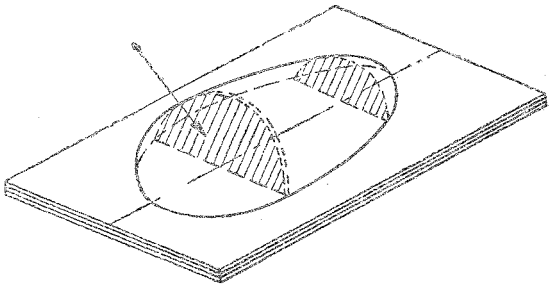


*Rys. 13-27. Plastyczna płyta ze szkła organicznego na powierzchni foremnika*

kształtu foremnika na całej powierzchni szkła, pogarsza się za to przejrzystość wskutek odcisków powierzchniowych faktury i nierówności foremnika. Grubość uzyskanej osłony odpowiada grubości arku-

sza wyjściowego. Obciąganie płyty ze szkła organicznego na kształt osłony zamkniętej z wszystkich stron wymaga stosowania bardzo dużych sił i rozbudowanego oprzyrządowania.

Przy metodzie bezkontaktowej formowania ciśnieniowego otrzymuje się powierzchnię sferyczną o przekrojach półkolistych (rys. 13-28), a więc powierzchnię niewymuszoną. Stąd bierze się trudność właściwego dopasowania szkła do wykroju w kadłubie i ramy osłony. Metoda bezkontaktowa wymaga również stosowania dużych naddatków technologicznych (na rysunku przód wydmuchanej osłony), daje za to całkowitą przejrzystość szkła bez zniekształceń optycznych.



*Rys. 13-28. Plastyczna płyta ze szkła organicznego przybierająca kształt powierzchni sferycznej*

Kształtowanie szkła organicznego wymaga specjalnych urządzeń do grzania arkusza płaskiego oraz przeprowadzenia sezonowania po uformowaniu, w celu usunięcia naprężeń wewnętrznych. Możliwości więc uzyskiwania osłon zależą od posiadanego wyposażenia.

## LITERATURA


*J. Biernacki* — Organizacja i normowanie spawania. PWT, Warszawa 1955

BZOIN — Uniwersalne przyrządy składane. Biuro Zbytu Obrabiarek i Narzędzi. Warszawa 1964

*Z. Brojer* — Żywice epoksydowe. Epidiany. Wydawnictwo Katalogów i Cenników. Warszawa 1964

*S. Fidyk* — Nagrzewanie promiennikowe w przemyśle drzewnym. Wydawnictwo Przem. Lekkiego i Spoż. Warszawa 1956

*E. Górski* — Poradnik narzędziowca. PWT, Warszawa 1956

Instrukcja stosowania wyrobów lakierowych

*S. Jabłoński* — Mały poradnik hartownika. WNT, Warszawa 1964

*Jacobs H., H. Lück* — Wekstattpraxis für den Ban von Gleit und Segelflugzeugen. O. Mayer, Ravensburg 1955

*J. Lipski* — Eksploatacja lotniczych przyrządów pokładowych. WKŁ, Warszawa 1963

*J. Lipski* — Lotnicza aparatura tlenowa. WK, Warszawa 1958

*Praca zbiorowa* — Poradnik lakiernika. WNT, Warszawa 1964

*Praca zbiorowa* — Materiały niemetalowe oraz ich zastosowanie w lotnictwie. MON, Warszawa 1961

*A. Sadowski* — Przemysłowe pomiary i sprawdzanie chropowatości powierzchni. WNT, Warszawa 1966

*A. Siemaszko, S. Porejko* — Kleje naturalne i syntetyczne. PWT, Warszawa 1961

*A. Tomaszewski* — Pomiary warsztatowe. SIMP, Warszawa 1950

*A. Tomaszewski* — Zarys metrologii warsztatowej. PWT, Warszawa 1953


### Czasopisma


Biuletyn Instytutu Mechaniki Precyzyjnej. Roczniki: 1962, 1963, 1964, 1965

Magazyn Racjonalizatora Lotnictwa. Roczniki: 1957, 1958, 1959, 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965

Technika Lotnicza. Roczniki: 1954, 1955, 1956, 1957, 1961, 1962, 1964, 1965

Zeszyty Instytutu Lotnictwa. Roczniki 1956, 1957, 1958

Instrukcja warsztatowa SZD: IW-58 do IW-66

Normy: PN/C, PN/H, PN/L, PN/M

## *Do CZYTELNIKÓW*

*Doświadczenie z przebiegu konkursu „Czytelnicy mówią o książce technicznej" uzasadnia celowość rozszerzenia tej bezpośredniej formy współpracy Czytelnika z wydawcą. Sprzyja ona nawiązywaniu i umacnianiu więzi wydawcy ze środowiskiem czytelniczym, orientuje w potrzebach, zwraca uwagę na błędy i niedociągnięcia, a ponadto stwarza możliwość wyłaniania z rzeszy czytelniczej kandydatów na opiniodawców i autorów książek w zakresie tematyki związanej z ich specjalnością i działalnością podstawową.*

*Zachęcamy więc do udziału w konkursie każdego Czytelnika, w szczególności o nadesłanie uwag, jakie nasunęły się przy zaznajamianiu się z niniejszą książką.*

*Wypowiedzi prosimy kierować pod naszym adresem — w miarę możliwości w terminie półrocznym po ukazaniu się książki. Wypowiedzi nadesłane z jakichkolwiek powodów po tym terminie będą również wykorzystane i objęte konkursem.*

*Po informacje szczegółowe prosimy zwracać się do nas. Regulamin konkursu można otrzymać w każdej Księgarni „Dom Książki", posiadającej dział książki technicznej.*

KOMISJA UPOWSZECHNIENIA
KSIĄŻKI I PRASY TECHNICZNEJ
Warszawa, ul. Mazowiecka 2/4
Tel. 26-82-93

WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI i ŁĄCZNOŚCI — WARSZAWA 1969

Wydanie pierwsze. Nakład 1500+200 egz. Ark. wyd. 26,2 Ark. druk. 20. Oddano do składania w lutym 1969. Podpisano do druku i druk ukończono we wrześniu 1969. Papier druk. sat. kl. III, 80 g 70×100 cm z Kluczy. Zam. P/5/69. K/5805. Cena zł 40.—

Szczec. Zakł. Graf. Szczecin, Al. Wojska Polskiego 128. Zam. nr 443. Z-6-201